



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO (IIP)

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL USO DE ETANOL
ANHIDRO EN MEZCLAS CON GASOLINA EN EL DISTRITO
METROPOLITANO DE QUITO**

ING. LILIANA GUZMÁN BECKMANN

DR. HELMER RODOLFO ACEVEDO GAMBOA

Trabajo presentado como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAGÍSTER EN PROCESOS INDUSTRIALES

Quito – Ecuador

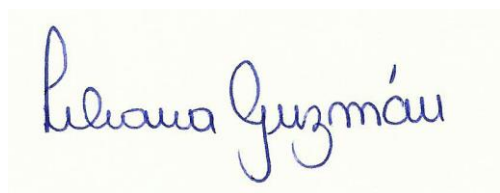
2013

AUTORIZACIÓN DE LA AUTORÍA INTELECTUAL

Yo, LILIANA GUZMÁN BECKMANN, en calidad de autor de la tesis realizada sobre ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL USO DE ETANOL ANHIDRO EN MEZCLAS CON GASOLINA EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o de parte de lo que contiene esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8, 19 y demás pertinentes de la ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Quito, 8 de Noviembre del 2013



LILIANA GUZMÁN BECKMANN

C.C. 1713930632

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por Liliana Guzmán Beckmann como requisito parcial a la obtención del título de MAGISTER EN PROCESOS INDUSTRIALES.

Septiembre, 2013



.....
HELMER RODOLFO ACEVEDO GAMBOA – Ph.D
TUTOR

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE ALCOHOL ETÍLICO EN MEZCLAS CON GASOLINA	4
1.1. USO DE SUELO	4
1.2. EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO	7
1.3. IMPACTO SOBRE EL AGUA DULCE	11
1.4. SEGURIDAD ALIMENTARIA	13
1.5. FACTORES ECONOMICOS Y SOCIALES	14
CAPÍTULO 2: CICLO DE ELABORACIÓN DE ETANOL ANHIDRO Y ESTADÍSTICAS DE PRODUCCIÓN A NIVEL MUNDIAL, REGIONAL Y NACIONAL	23
2.1. LA CAÑA DE AZÚCAR	23
2.1.1. Aspectos Botánicos	23
2.1.2. Composición Nutricional	23
2.1.3. Requerimientos climáticos	24
2.1.4. Proceso Productivo	25
2.1.5. Cultivo de la caña de azúcar a nivel mundial y regional	27
2.1.6. Cultivo de la caña de azúcar en el Ecuador	32
2.2. EL AZÚCAR	34
2.2.1. Procesamiento industrial del azúcar de caña	34
2.2.2. Producción mundial y regional de azúcar	36
2.2.3. Producción de azúcar en el Ecuador	40
2.2.3.1. Importaciones y exportaciones de azúcar en el Ecuador	41
2.3. ETANOL ANHIDRO	43
2.3.1. Proceso de elaboración de alcohol etílico anhidro	43
2.3.1.1. Preparación de la materia prima	44
2.3.1.2. Proceso de fermentación	44
2.3.1.3. Rendimientos de las materias primas	45
2.3.1.4. Destilación del alcohol	46

2.3.1.5	Tratamiento de efluentes	47
2.3.2.	Producción mundial y regional de Etanol	49
2.3.2.1.	Estados Unidos	50
2.3.2.2.	Brasil	51
2.3.2.3	Precios del Etanol	52
2.3.2.3.	Producción Mundial de Etanol por Materia Prima Utilizada	54
2.3.3.	Producción de etanol en el Ecuador	56
2.3.3.1	Producción industrial de etanol	56
2.3.3.1.	Producción artesanal de etanol	56
2.3.3.2.	Exportaciones e importaciones de etanol en el Ecuador	57

CAPÍTULO 3: PERSPECTIVAS DE PRODUCCIÓN Y USO DE ETANOL COMO CARBURANTE EN EL ECUADOR 59

3.1.	CONSUMO NACIONAL DE GASOLINA EXTRA, GASOLINA SÚPER Y ECO PAÍS	59
3.1.1.	Consumo de gasolina per cápita en Colombia, Ecuador y Perú	60
3.2.	IMPORTACIÓN DE NAFTA DE ALTO OCTANO Y GASOLINA EXTRA	61
3.3.	PROYECCIONES DEL USO DE GASOLINA EN EL ECUADOR	63
3.4.	PROYECCIONES DE CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL PAÍS	63
3.5.	PROYECCIÓN DE PRODUCCIÓN DE ALCOHOL EN EL ECUADOR	66
3.6.	COMPARACIONES DE LA PRODUCCIÓN DE ALCOHOL VS GASOLINA QUE SE CONSUME EN QUITO Y SUS RESPECTIVAS PROYECCIONES	67
3.7.	BASES Y REFERENCIAS LEGALES EN EL ECUADOR PARA PROYECTOS DE BIOCOMBUSTIBLES	68
3.7.1.	Constitución Política del Ecuador	68
3.7.2.	Los Biocombustibles como sector estratégico	69
3.7.3.	Plan Nacional para el Buen Vivir	69
3.7.4.	Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas	71
3.7.5.	Decretos Ejecutivos	72
3.8.	BIOCOMBUSTIBLES DE PRIMERA, SEGUNDA Y TERCERA GENERACIÓN	73
3.8.1.	Biocombustibles de primera generación	73
3.8.2.	Biocombustibles de segunda generación	74
3.8.3.	Biocombustibles de tercera generación	77

CAPITULO 4: CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE CO₂ PRODUCIDAS EN LA CIUDAD DE QUITO DEBIDO A LOS MOTORES DE CICLO DE OTTO SIN ETANOL Y CON ETANOL ANHIDRO	79
4.1 MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA	79
4.1.1 Ciclo Teórico Estándar de Aire (Ciclo de Otto)	81
4.1.2 Eficiencia térmica en el Ciclo de Otto	87
4.1.3 Ciclo Real Estándar de Aire	88
4.2 SIMULACIÓN DE LOS EQUILIBRIOS TERMODINÁMICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CON CICLO DE OTTO	89
4.2.1 Simulación 1: gasolina 100%	89
4.2.2 Simulación 2: gasolina 97% y etanol anhidro 3%	90
4.2.3 Simulación 3: gasolina 95% y etanol anhidro 5%	92
4.2.4 Simulación 4: gasolina 90% y etanol anhidro 10%	93
4.2.5 Resultados de las simulaciones en el estado E	95
4.3 EMISIONES DE CO ₂ , CO, NO _x Y CH ₄ DE FUENTES MÓVILES A GASOLINA EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO	99
4.3.1 Emisiones de CO ₂	100
4.3.2 Emisiones de CO	101
4.3.3 Emisiones de NO _x	102
4.3.4 Emisiones de CH ₄	103
4.4 AUMENTO DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DEBIDO A LA DISMINUCIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LA MEZCLA	104
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	105
5.1 CONCLUSIONES	105
5.2 RECOMENDACIONES	113
GLOSARIO	115
BIBLIOGRAFÍA	117
ANEXO A	126
ANEXO B	130
ANEXO C	143

ANEXO D	147
BIOGRAFÍA	160

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1.1	Comparación de los gases de efecto invernadero emitidos por los biocombustibles y por los combustibles fósiles	10
Figura 2.1	Proceso productivo de la caña de azúcar	25
Figura 2.2	Procesamiento industrial de caña de azúcar	35
Figura 2.3	Diagrama de flujo para la producción artesanal de etanol a partir de la caña de azúcar	43
Figura 2.4	Diagrama de flujo para la producción industrial de etanol a partir de melaza	48
Figura 3.1	Zonificación Agroecológica de Cultivo de Caña de Azúcar	65
Figura 3.2	Diagrama de bloques del proceso integrado de producción de etanol de primera y segunda generación, a partir de caña de azúcar	76
Figura 3.3	Proceso de obtención de bio-diesel a partir de las algas	78
Figura 4.1	Componentes de un motor de combustión interna	80
Figura 4.2	Ciclo de Otto diagrama Presión - Temperatura	84

LISTA DE GRÁFICOS

		Página
Grafico 1.1	Porcentaje de UPAs clasificadas por su extensión que se dedican al cultivo de caña de azúcar para producción de azúcar	17
Gráfico 1.2	Porcentaje de hectáreas plantadas clasificadas según la extensión de las UPAs que se dedican al cultivo de caña de azúcar para producción de azúcar	17
Grafico 1.3	Porcentaje de UPAs clasificadas por su extensión que se dedican al cultivo de caña de azúcar para otros usos	19

Gráfico 1.4	Porcentaje de hectáreas plantadas clasificadas según la extensión de las UPAs que se dedican al cultivo de caña de azúcar para otros usos	19
Gráfico 1.5	Porcentaje de UPAs por provincia que se dedican al cultivo de caña de azúcar para producción de azúcar	20
Gráfico 1.6	Porcentaje de superficie plantada por provincia utilizadas para el cultivo de caña de azúcar para producción de azúcar	20
Gráfico 1.7	Porcentaje de UPAs por provincia que se dedican al cultivo de caña de azúcar para otros usos	21
Gráfico 1.8	Porcentaje de superficie plantada por provincia utilizadas para el cultivo de caña de azúcar para otros usos	22
Gráfico 2.1	Evolución de la superficie cosechada, producción y rendimiento mundial de caña de azúcar	27
Gráfico 2.2	Producción de caña de azúcar por regiones. 2000-2011	28
Gráfico 2.3	Porcentaje de Producción de Caña de Azúcar por Regiones. Año 2011	29
Gráfico 2.4	Principales productores mundiales, incluido Ecuador para fines comparativos. Año 2011	29
Gráfico 2.5	Porcentaje de Producción a nivel mundial de los principales productores de Caña de Azúcar. Incluidos en el gráfico para fines comparativos: Colombia y Ecuador. Año 2011	30
Gráfico 2.6	Rendimiento productivo por regiones. 2000-2011	31
Gráfico 2.7	Rendimiento productivo por países. 2000-2011	31
Gráfico 2.8	Evolución de la superficie cosechada, producción y rendimiento de caña de azúcar en el Ecuador	33
Gráfico 2.9	Balance Mundial del Azúcar	36
Gráfico 2.10	Producción Mundial de Azúcar 2006 – 2011 y Proyecciones al 2020	37
Gráfico 2.11	Evolución de los precios mundiales del azúcar en	37

	términos reales y Proyecciones al 2020	
Gráfico 2.12	Volúmenes de exportación de azúcar de los principales exportadores entre 2008-2010 y 2020	38
Gráfico 2.13	Producción anual de azúcar en el Ecuador 2000-2011	41
Gráfico 2.14	Exportaciones de azúcar en el Ecuador. 2000-2012	42
Gráfico 2.15	Importaciones de azúcar en el Ecuador. 2000-2012	42
Gráfico 2.16	Desarrollo y Perspectivas del Mercado Mundial de Etanol	50
Gráfico 2.17	Desarrollo Proyectado del Mercado Estadounidense de Etanol	51
Gráfico 2.18	Desarrollo Proyectado del Mercado Brasileño de Etanol	52
Gráfico 2.19	Evolución de los precios del etanol en términos reales al 2020	53
Gráfico 2.20	Evolución de la producción mundial de etanol por materia prima utilizada	55
Gráfico 2.21	Exportaciones de alcohol etílico del Ecuador	58
Gráfico 2.22	Importaciones de alcohol etílico al Ecuador	58
Gráfico 3.1	Consumo de gasolina del sector vial per cápita (kilogramos) Colombia, Ecuador y Perú	60
Gráfico 3.2	Importaciones de nafta de alto octano y gasolina Extra 1997 – 2012 y proyecciones hasta el 2020	62
Gráfico 3.3	Consumo de Gasolinas 1997 – 2012 y proyecciones hasta el 2020	63
Gráfico 4.1	Porcentajes de CO y CO ₂ producido según porcentaje de etanol en la gasolina	96
Gráfico 4.2	Porcentajes de NO _x producido según porcentaje de etanol en la gasolina	97
Gráfico 4.3	Porcentajes de HC producido según porcentaje de etanol en la gasolina	98
Gráfico 4.4	Emisiones de CO ₂ de vehículos a gasolina extra en el DMQ 2003-2009	100

Gráfico 4.5	Emisiones de CO de vehículos a gasolina extra en el DMQ 2003-2009	101
Gráfico 4.6	Emisiones de NO _x de vehículos a gasolina extra en el DMQ 2003-2009	102
Gráfico 4.7	Emisiones de CH ₄ de vehículos a gasolina extra en el DMQ 2003-2009	103

LISTA DE TABLAS

		Página
Tabla 2.1	Composición nutricional de la caña de azúcar	23
Tabla 2.2	Datos de los principales ingenios azucareros del Ecuador	40
Tabla 2.3	Rendimientos de alcohol a partir de diferentes materias primas	46
Tabla 2.4	Datos de las destiladoras de alcohol etílico más grandes del Ecuador	56
Tabla 3.1	Consumo nacional de Gasolina Súper, Extra y Extra con Etanol	59
Tabla 3.2	Importación de nafta de alto octano y gasolina extra	61
Tabla 3.3	Volumen de etanol anhidro que se debería añadir a la Gasolina Extra que se consume en Quito para reemplazar el 3%, 5% y 10% del volumen	68
Tabla 4.1	Propiedades termodinámicas del fluido en el motor con 100% gasolina	89
Tabla 4.2	Resultados de la cantidad de componentes analizados presentes después de la combustión en el motor con 100% gasolina	90
Tabla 4.3	Propiedades termodinámicas del fluido en el motor con 97% de gasolina y 3% de etanol	91
Tabla 4.4	Resultados de la cantidad de componentes analizados presentes después de la combustión en el motor con 97% de gasolina y 3% de etanol	91

Tabla 4.5	Resultados de las propiedades termodinámicas del fluido en el motor con 95% de gasolina y 5% de etanol	92
Tabla 4.6	Resultados de la cantidad de componentes analizados presentes después de la combustión en el motor con 95% de gasolina y 5% de etanol	93
Tabla 4.7	Resultados de las propiedades termodinámicas del fluido en el motor con 90% de gasolina y 10% de etanol	94
Tabla 4.8	Resultados de la cantidad de componentes analizados presentes después de la combustión en el motor con 90% de gasolina y 10% de etanol	94
Tabla 4.9	Resultados de las propiedades del fluido del estado E	95
Tabla 4.10	Resultados de la cantidad de moles de los compuestos analizados presentes en el estado E	95
Tabla 4.11	Resultados de la cantidad de moles de los compuestos analizados presentes en el estado E	95
Tabla 4.12	Cantidad de CO producido según porcentaje de etanol en la gasolina	96
Tabla 4.13	Cantidad de CO ₂ producido según porcentaje de etanol en la gasolina	96
Tabla 4.14	Cantidad de NO _x producido según porcentaje de etanol en la gasolina	97
Tabla 4.15	Cantidad de HC producido según porcentaje de etanol en la gasolina	98
Tabla 4.16	Reducción de emisiones de CO ₂ a diferentes concentraciones de etanol en la gasolina basadas en proyecciones de emisiones de CO ₂ para el año 2013	101
Tabla 4.17	Reducción de emisiones de CO a diferentes concentraciones de etanol en la gasolina basadas en el promedio de emisiones de CO de años anteriores	102
Tabla 4.18	Reducción de emisiones de NO _x a diferentes concentraciones de etanol en la gasolina basadas en	103

	el promedio de emisiones de NO _x de años anteriores	
Tabla 4.19	Reducción de emisiones de CH ₄ a diferentes concentraciones de etanol en la gasolina basadas en el promedio de emisiones de CH ₄ de años anteriores	104
Tabla 4.20	Disminución del poder calorífico de la mezcla	104
Tabla 5.1	Disminución en el pago de importaciones por uso de etanol en la gasolina extra en Quito	110
Tabla 5.2	Reducción de emisiones si se utilizara etanol en la gasolina extra en el Distrito Metropolitano de Quito	112

LISTA DE ANEXOS

		Página
Tabla A.1	Clasificación por tamaño de UPA de la cantidad de UPAs y Hectáreas Plantadas para el cultivo de la caña de azúcar para azúcar y para otros usos	127
Tabla A.2	Cantidad de UPAs y hectáreas plantadas clasificadas por su extensión que se dedican al cultivo de caña de azúcar para azúcar	128
Tabla A.3	Porcentaje de UPAs y hectáreas plantadas clasificadas por su extensión que se dedican al cultivo de caña de azúcar para azúcar	128
Tabla A.4	Cantidad de UPAs y hectáreas plantadas clasificadas por su extensión que se dedican al cultivo de caña de azúcar para otros usos	128
Tabla A.5	Porcentaje de UPAs y hectáreas plantadas clasificadas por su extensión que se dedican al cultivo de caña de azúcar para otros usos	128
Tabla A.6	Cantidad de UPAs y Superficie Plantada por provincia que se dedican al cultivo de caña de azúcar para azúcar y para otros usos	129
Tabla A.7	Porcentaje de UPAs y Superficie Plantada por provincia que se dedican al cultivo de caña de azúcar	130

	para azúcar y para otros usos	
Tabla B.1	Evolución de la superficie cosechada, producción y rendimiento mundial de caña de azúcar	131
Tabla B.2	Producción de caña de azúcar por regiones. 2000-2011	132
Tabla B.3	Principales productores mundiales. Año: 2011	133
Tabla B.4	Porcentaje de Producción a nivel mundial de los principales productores de Caña de Azúcar. Incluidos para fines comparativos: Colombia y Ecuador. Año: 2011	133
Tabla B.5	Rendimiento productivo por regiones. 2000-2011	134
Tabla B.6	Rendimiento productivo por países. 2000-2011	134
Tabla B.7	Evolución de la superficie cosechada, producción y rendimiento de caña de azúcar en el Ecuador	135
Tabla B.8	Balance mundial del Azúcar	136
Tabla B.9	Producción Mundial de Azúcar 2006 – 2011 y Proyecciones hasta 2020	136
Tabla B.10	Evolución de los precios mundiales del azúcar en términos reales al 2020	137
Tabla B.11	Comparación de los volúmenes de exportación de los principales exportadores entre 2008-2010 y 2020	138
Tabla B.12	Producción anual de azúcar cruda centrifugada en el Ecuador. 2000-2011	138
Tabla B.13	Exportaciones de azúcar en el Ecuador. 2000-2012	139
Tabla B.14	Importaciones de azúcar en el Ecuador. 2000-2012	139
Tabla B.15	Desarrollo y Perspectivas del Mercado Mundial de Etanol	140
Tabla B.16	Desarrollo Proyectado del Mercado Estadounidense de Etanol	140
Tabla B.17	Desarrollo Proyectado del Mercado Brasileño de Etanol	141
Tabla B.18	Evolución de los precios del etanol en términos reales al 2020	141

Tabla B.19	Evolución de la producción mundial de etanol por materia prima utilizada	142
Tabla B.20	Exportaciones de Alcohol Etílico del Ecuador	143
Tabla B.21	Importaciones de Alcohol Etílico al Ecuador	143
Tabla C.1	Consumo de gasolina del sector vial per cápita por año (kilogramos)	144
Tabla C.2	Consumo nacional de Gasolina Súper, Extra y Ecopaís 1972 - 2012	145
Tabla C.3	Importaciones de nafta de alto octano y gasolina extra 1976 - 2012	146
Tabla C.4	Despachos de gasolinas a la Provincia de Pichincha 2007 - 2012	147
Tabla C.5	Despachos de gasolinas al Distrito Metropolitano de Quito 2007 - 2012	147
Anexo D.1	Ejemplo de cálculo de la Relación Aire – Combustible (AF)	147
Anexo D.2	Ejemplo de cálculo del poder calorífico de la mezcla	148
Anexo D.3	Reporte de las Simulaciones	149
Anexo D.4	Inventario de emisiones de CO ₂ , CO, NO _x y CH ₄ en la ciudad de Quito	159
Tabla D.1	Inventario de emisiones de CO ₂ de vehículos a gasolina extra en DMQ	159
Tabla D.2	Inventario de emisiones de CO de vehículos a gasolina extra en DMQ	159
Tabla D.3	Inventario de emisiones de NO _x de vehículos a gasolina extra en DMQ	159
Tabla D.4	Inventario de emisiones de CH ₄ de vehículos a gasolina extra en DMQ	160

RESUMEN

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL USO DE ETANOL ANHIDRO EN MEZCLAS CON GASOLINA EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

En este estudio se plantea la posibilidad de utilizar gasolina extra con el 3%, 5% y 10% de etanol anhidro para su distribución en el Distrito Metropolitano de Quito. Se analizan las ventajas y desventajas del uso de etanol en la gasolina con un enfoque en la situación del país. Se resumen aspectos del proceso, mercado mundial, regional y nacional de la caña de azúcar, del azúcar y del etanol. También se estudia el mercado de combustibles en el Ecuador y en la ciudad de Quito. Finalmente se realizan simulaciones de los motores con Ciclo de Otto con los diferentes contenidos de etanol mencionados para evaluar el cambio en las emisiones de combustión.

Se concluye que debido a los factores climáticos, económicos y sociales y a las ventajas en la reducción de emisiones de los motores es factible el uso de etanol hasta un 10% en mezcla con gasolina Extra en el Distrito Metropolitano de Quito.

Los proyectos de biocombustibles en el Ecuador deberían estar basados y proyectados en la producción nacional de materia prima. El crecimiento de estos proyectos estaría limitado por sus efectos con el medio ambiente y con la seguridad alimentaria de la población. Si estos proyectos no cumplen con las expectativas de estos dos factores se pierden ampliamente las ventajas presentes en las condiciones actuales de Ecuador.

DESCRIPTORES: GASOLINA CON ETANOL / EMISIONES GASEOSAS / CAÑA DE AZÚCAR / SOFTWARE STANJAN / DISTRITO METROPOLITANO QUITO / GASOLINA EXTRA.

ABSTRACT

FEASIBILITY STUDY OF THE USE OF ANHIDROUS ETHANOL IN MIXTURES WITH GASOLINE IN QUITO

This study analyzes the possibility of using gasoline Extra blended with 3%, 5% y 10% of anhydrous ethanol for sale in Quito. The advantages and disadvantages of using anhydrous ethanol in the actual situation of Ecuador have been studied. The summary includes the process and the world, regional and national markets of sugar cane, sugar and ethanol. There is also a market analysis of all types of gasoline in Ecuador and Quito. Finally, simulations of performance of Otto engines have been done with different percentages of ethanol in gasoline in order to evaluate the changes in the exhaust gases.

Because of the weather, economics, social factors and the decrease in the exhaust gases of Otto engines the use of Extra gasoline is feasible blended with up 10% of anhydrous ethanol in Quito.

The biofuel projects in Ecuador should be based on the local production of raw material. The growth limits of these projects would be the same growth limits of the raw material production, without affecting the environment and food supply. These projects could reach levels of production that would damage the environment and food supply. Therefore, these projects would have negative consequences for Ecuador if proper controls are not applied.

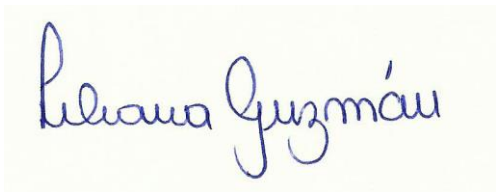
KEYWORDS: GASOLINE WITH ETHANOL / EXHAUST GASES / SUGAR CANE / SOFTWARE STANJAN / QUITO CITY / EXTRA GASOLINE.

CERTIFICACIÓN TRADUCCIÓN RESUMEN

Yo, Liliana Guzmán Beckmann, autora de la presente tesis certifico que la traducción del RESUMEN que se encuentra en la página xvii fue realizada por mi persona.

En la página xix se encuentra el certificado de Suficiencia en Inglés otorgado por el Centro de Educación Continua de la Escuela Politécnica Nacional.

Quito, 8 de Noviembre del 2013



Liliana Guzmán Beckmann

C.I. 1713930632



CENTRO DE EDUCACIÓN CONTINUA
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DIRECCIÓN DE LINGÜÍSTICA E INTERCAMBIOS CULTURAL

Sufficiency in English Certificate



The Sufficiency in English Certificate is hereby conferred on

Liliana Guzman Beckmann

who has successfully passed all requirements of the

*Dirección de Lingüística e Intercambios Culturales del Centro de
Educación Continua de la Escuela Politécnica Nacional.*



Quito, January 17, 2009



Henry Guay Guach
Director



Andres Paredes
General Academic Coordinator



Kari Miller
Academic Coordinator

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador se utilizan tres tipos de gasolinas: Extra, Súper y Eco-país. En el año 2012 el total de ventas de estos tres tipos de gasolina alcanzaron la cifra de 23,6 millones de barriles en el país, de este total el 73% corresponde a gasolina Extra, el 22,5% a gasolina Súper y el 4,5% a Eco-país. Aunque es bajo el porcentaje de Eco-país este tipo de gasolina ha incrementado su volumen de ventas en dos años en un 87%. La gasolina Eco-país es alcohol etílico anhidro al 5% en volumen en una mezcla con gasolina extra que se la comercializa como parte de un plan piloto en Guayaquil desde el año 2010. Actualmente hay la posibilidad para escalar este plan piloto a nivel nacional debido a que el uso de biocombustibles es parte de las estrategias energéticas del Gobierno actual.

Respecto al sustento legal para llevar a cabo proyectos de biocombustibles en el Ecuador se puede mencionar que el Artículo 413 de la Constitución Política del Ecuador busca promover la eficiencia energética; el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas; las energías renovables, diversificadas, de bajo impacto que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria; el equilibrio ecológico de los ecosistemas; y el derecho al agua. La Política 4.3 del Plan Nacional del Buen Vivir tiene como uno de sus objetivos impulsar la generación de energía de fuentes renovables o alternativas con enfoque de sostenibilidad social y ambiental.

El gobierno ecuatoriano a través del Plan Nacional de Biocombustibles con el reemplazo del 5% de gasolina por etanol anhidro en el país desea alcanzar los siguientes objetivos: la reducción parcial de las importaciones de nafta de alto octano, disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, desarrollo del sector agroindustrial y mejorar la calidad de los combustibles reduciendo aromáticos, benceno y azufre.

El presente estudio va a hacer enfoque en la obtención de alcohol a partir de la caña de azúcar y de la melaza que es un subproducto del proceso de elaboración del azúcar. La caña de azúcar es un cultivo que está presente en el

país desde la época de la colonia y actualmente existe una infraestructura desarrollada en cuanto a cultivos e ingenios. También hay personal calificado tanto en la parte agrícola como en la industrial. En cada uno de los tres ingenios más grandes del país existe una planta asociada que produce alcohol a partir de la melaza. Según el CINCAE en el país se cultivan alrededor de 80.000 hectáreas de caña. Los rendimientos normalmente son de 75 – 80 toneladas de caña por hectárea, en el año 2012 se alcanzó un rendimiento de 90 toneladas por hectárea y se produjo alrededor de 11 millones de sacos de azúcar de 50 kilogramos. Diariamente se estima que se producen 170.000 litros de etanol en Ecuador, de los cuales 14.000 provienen de fuentes artesanales.

Escalar el proyecto de uso de etanol anhidro como carburante implica el uso de grandes extensiones de cultivo, empleo de mano de obra en el campo, desarrollo de la agroindustria relacionada con la cadena de producción de etanol y el desarrollo de todas las industrias que suministran insumos y servicios para este sector. Esta nueva industria, a diferencia de la petrolera, implica una cadena productiva que impacta de forma más directa a los diferentes sectores de la economía del país.

Los cultivos y procesos destinados a producir biocombustibles deben ser muy bien analizados y regulados. Uno de los objetivos principales para su uso es la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, sin embargo, si no se cuidan temas como el tipo de suelo que se está utilizando para la siembra, eficiencia del procesamiento para la obtención del combustible o energía utilizada en el transporte, el balance energético puede resultar negativo.

Se debe calcular en los biocombustibles dos tipos de indicadores energéticos: la energía contenida en el biocombustible y la energía total utilizada en su producción. La contribución de cada biocombustible al suministro de energía depende tanto del contenido energético del combustible como de la energía que se gasta en producirlo. Esta última comprende la energía necesaria para cultivar y cosechar la materia prima, convertirla en biocombustible y transportarla en las diversas fases de su producción y distribución.

En cada proyecto de biocombustibles se debe estudiar particularmente las condiciones de cada país y optimizar los procesos que se van a utilizar en toda la cadena productiva. De esto depende que el balance energético final sea positivo. La aptitud de cultivar materias primas para biocombustibles es evaluada usando un conjunto de variables biofísicas, legales, ambientales y socioeconómicas, tomando en cuenta ciertos parámetros de sostenibilidad que son muy importantes.

En el caso de los biocombustibles líquidos, la mayoría de los sistemas de producción producen menos emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con otras alternativas a los combustibles fósiles, pero únicamente cuando el proceso de producción de las materias primas no provoque cambios drásticos en las reservas de carbono de los suelos y el manto vegetal. En general se puede decir que, el uso de los biocombustibles para satisfacer parcialmente la demanda de energía en el sector transporte puede producir un efecto positivo en las emisiones de gases de efecto invernadero siempre que se tomen otras medidas de control a nivel de ese sector.

En motores convencionales que funcionan con gasolina se ha utilizado con éxito mezclas con gasolina de hasta un 10% en volumen. Una desventaja que puede presentar el uso de etanol en motores convencionales es que es 100 % miscible con el agua, por lo que es importante definir las concentraciones gasolina-etanol para evitar daños en el sistema de alimentación de combustible. Otra desventaja puede ser la compatibilidad de la mezcla gasolina – etanol con los elementos internos de los sistemas de alimentación de combustible de los vehículos.

Los biocombustibles podrían ser una opción de avance importante para contribuir al cambio de la matriz energética del Ecuador. También podría generar alternativas productivas para el sector agroindustrial, contribuyendo a la generación de empleo y a mejorar las condiciones de vida de los pequeños productores mediante proyectos inclusivos, produciendo de esta manera un impacto social positivo.

CAPÍTULO 1: VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE ALCOHOL ETÍLICO EN MEZCLAS CON GASOLINA

1.1. USO DE SUELO

En el caso de los biocombustibles líquidos, la mayoría de los sistemas de producción producen menos emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con otras alternativas a los combustibles fósiles, pero únicamente cuando el proceso de producción de las materias primas no provoque cambios drásticos en las reservas de carbono de los suelos y el manto vegetal. Sin embargo, si los bosques se transforman para la producción de bioenergía, las emisiones resultantes de la pérdida de la reserva de carbono pueden compensar sobradamente la reducción de emisiones lograda mediante la sustitución de combustibles fósiles por biocombustibles líquidos. El cambio de uso de suelo en los análisis de ciclo de vida ofrece resultados muy negativos de incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero. (Banco Interamericano de Desarrollo, 2012)

Uno de los temas que ahora se toma muy en cuenta para la producción de la materia prima para biocombustibles es el uso actual de la tierra que se va a utilizar para la siembra. Desde el punto de vista ambiental, las situaciones posibles van desde los impactos netamente negativos por la ocupación, tala y/o quema de bosques hasta situaciones potencialmente positivas como la utilización de terrenos degradados. En otros casos la tierra ya se cultiva y cambia la producción o incluso se mantiene el mismo cultivo y solo cambia su uso. (BID, 2012)

El Ecuador tiene alrededor de 9,6 millones de hectáreas de bosques primarios que representan el 39% de la superficie total del país. Según un informe de la FAO, Ecuador sufre una disminución del 1,8% anual de bosques primarios, la tasa más alta de América Latina.

El Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN), basado en información satelital del año 2000, determinó una pérdida anual de entre unas 60.000 a 200.000 hectáreas de bosques nativos.

Los principales factores causantes de la alta tasa de deforestación son los siguientes: sector maderero, expansión de la producción agrícola y ganadera, desarrollo de infraestructuras y crecimiento demográfico y urbanístico, industria petrolera, minera y camaronera.

La producción de biocombustibles no debería aportar al incremento de la tasa de deforestación en el país, el efecto es aún mayor cuando se destruyen los bosques primarios con toda la biodiversidad que albergan. Sin embargo, los cultivos para obtención de materia prima para biocombustibles tienen los mismos riesgos que la producción de las materias primas para fines alimentarios o industriales. Con esta consideración, todos los cultivos para cualquier uso generan riesgos similares y deben estar sujetos al cumplimiento de requisitos ambientales, controles y medidas de mitigación

El uso indirecto de la tierra se define como el efecto que la expansión de los cultivos para biocombustibles puede provocar en el desplazamiento de los cultivos tradicionales a otros terrenos, que pueden ser de alto valor ecológico o con altas reservas de carbono.

La Comisión Europea en respuesta al requerimiento del Consejo y el Parlamento Europeo encargó una investigación para analizar los efectos de los biocombustibles en el cambio del uso indirecto de la tierra, así el estudio “Global trade and environmental impact of the EU biofuels mandate” realizado por el International Food Policy Research Institute (IFPRI) establece los criterios de sostenibilidad que tienen que cumplir los biocombustibles consumidos dentro del territorio de la Unión Europea. Dentro de los criterios se incluyen un mínimo de ahorro de emisiones directas de gases de efecto invernadero del 35% en 2009, incrementando hasta el 50% en 2017, así como restricciones en el tipo de tierras que se pueden convertir para el cultivo de materias primas para la producción de biocombustibles. El estudio muestra una positiva reducción de gases de efecto invernadero y beneficios ambientales con el uso y la entrada en el mercado de biocarburantes de primera generación (especialmente debido a la importación de etanol brasileño a partir de caña de azúcar). Por otra parte, el informe advierte que los efectos derivados del cambio indirecto en el uso de tierras contrarrestarán

parte de los beneficios señalados. Sin embargo, el estudio señala que los cambios indirectos de uso del suelo no resultará una amenaza si se mantiene el actual objetivo del 5,6% de uso de biocombustibles en el transporte para 2020. A partir de ese porcentaje, el propio IFPRI reconoce que las emisiones de gases de efecto invernadero se pueden incrementar rápidamente y mermar la sostenibilidad ambiental de los biocombustibles.

El cambio del uso de suelo directo e indirecto debido a la expansión de cultivos destinados para combustibles se lo ha tratado de calcular de dos maneras: por medio de modelos matemáticos y en los últimos años a través del análisis de datos históricos y estadísticos. El en primer método se utilizan diferentes algoritmos y fórmulas que tratan de modelar un sistema muy difícil de predecir. Hay muchos factores que determinan el interés de expandir los mercados de biocombustibles, entre ellos están las decisiones que tomen los gobiernos por implementar proyectos para remplazar los combustibles fósiles y las regulaciones comerciales del mercado.

Según un estudio realizado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) – Ministerio de Minas y Energía de Colombia sobre la evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de biocombustibles del año 2012 recomienda entre muchos otros aspectos lo siguiente respecto al uso de suelo:

- Elaboración de mapas de aptitud del suelo y de zonificación de cultivos: Estos mapas determinan la aptitud de los suelos de ser cultivados con materias primas para biocombustibles. Para determinar la idoneidad de los suelos de cultivo se utilizan variables biofísicas, legales, ambientales y socioeconómicas.

Primero, se evalúan las características climáticas y biofísicas con el fin de identificar todas las áreas en las cuales puede ser cultivada la caña de azúcar. En un segundo paso, se excluyen las áreas con restricción legal prioritaria, como parques nacionales o reservas indígenas. Tercero, se identifican las áreas con algo impacto respecto la biodiversidad, escasez de agua y a las emisiones de gases efecto invernadero. Y como cuarto punto se determina la sostenibilidad socioeconómica de los proyectos.

- Estudios de impacto ambiental previo a la autorización de la ampliación de las zonas de cultivo

1.2. EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

En general se puede decir que el uso de los biocombustibles para satisfacer parcialmente la demanda de energía en el sector transporte puede producir un efecto positivo en las emisiones de gases de efecto invernadero siempre que se tomen otras medidas de control a nivel de ese sector.

De acuerdo a estudios efectuados por el Departamento de Energía de los estados Unidos de América y el Departamento de Agricultura¹, en los que se compararon los resultados de parámetros ambientales relevantes del biodiesel con los del diésel de petróleo bajo el enfoque total a lo largo de toda la cadena desde el recurso primario hasta el uso final, haciendo un inventario de los materiales utilizados, los recursos energéticos consumidos, el aire, el agua y los desechos sólidos y las emisiones generadas por el diésel de petróleo y biodiesel, con el fin de comparar los costos y beneficios durante el ciclo de vida de cada uno de los combustibles, se concluyó que el biodiesel presenta amplias ventajas en términos del balance neto de energía, eficiencia energética global, producción de residuos sólidos peligrosos y aguas residuales, emisiones de dióxido de carbono, monóxido de carbono, azufre, metano, partículas y hollín, siendo superiores únicamente en el caso de nitrógeno.

En el caso del etanol, también se observa una clara ventaja con respecto a la gasolina en las emisiones de CO₂ en el ciclo de vida del combustible, con una relación de 1 a 10 a favor del etanol, al igual que en aspectos relativos a toxicidad y seguridad al igual que el caso del biodiesel. Asimismo, en el mencionado estudio se infiere que no se prevén problemas en América Latina originados en

¹ USDOE-USDA. Inventario del ciclo de vida del biodiesel, 1998, citado en Biocombustibles y Alimentos en América Latina y el Caribe, Decio Luiz Gazzoni, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José, Costa Rica 2009. Los estudios duraron 3 años y medio y siguieron los protocolos aprobados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos

una elevada proporción de monocultivos intensivos en relación a la tierra cultivada.

Algunos procesos de producción de biocombustibles son más eficientes que otros en cuanto al consumo de recursos y a la contaminación ambiental. La caña de azúcar requiere el uso de menos fertilizantes que el cultivo de maíz, por lo que resulta en una mayor reducción de gases de efecto invernadero respecto a los combustibles fósiles. Para lograr este resultado se deben aplicar técnicas agrícolas y estrategias apropiadas.

De acuerdo a un estudio presentado en 14^{vo} Congreso Internacional Anual De La Somim (2008) realizado sobre los efectos en emisiones gaseosas de HC, CO, CO₂ y O₂ durante la combustión gasolina-etanol en un motor de Combustión interna, deducen lo siguiente:

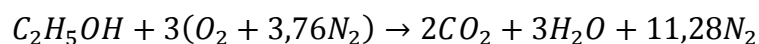
CO

La emisión de CO disminuye mientras se incrementa el contenido del etanol, lo que indica que la adición de etanol reduce considerablemente la concentración de emisiones de CO, alcanzando hasta un 90 % la reducción de emisiones de éste, teniendo sólo una dependencia, las condiciones de funcionamiento del motor. Cuando el etanol se agrega al combustible mezclado puede proporcionar más oxígeno para el proceso de combustión, y por consiguiente, reducir la emisión de CO.

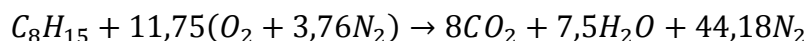
CO₂

En las ecuaciones se presenta la combustión ideal para el etanol (C₂H₅OH) y la gasolina (C₈H₁₅) respectivamente

Etanol:



Gasolina:



Resolviendo para el CO₂ en un análisis seco de gases de combustión:

% CO₂ debido a la combustión con Etanol

$$\frac{2}{2 + 11,28} \times 100\% = 15,06\%$$

% CO₂ debido a la combustión con Gasolina:

$$\frac{8}{8 + 44,18} \times 100\% = 15,33\%$$

Bajo condiciones ideales la emisión de CO₂ en proporción de gases secos de escape es ligeramente mayor en la gasolina, sin embargo, en condiciones reales de operación del motor se presenta la influencia del contenido de etanol en la gasolina respecto a la emisión de CO₂. Al tener presencia de oxígeno en la gasolina se mejora el proceso de combustión, y esto a su vez ocasiona un incremento en la emisión de CO₂ debido al exceso de oxígeno presente en la mezcla.

O₂

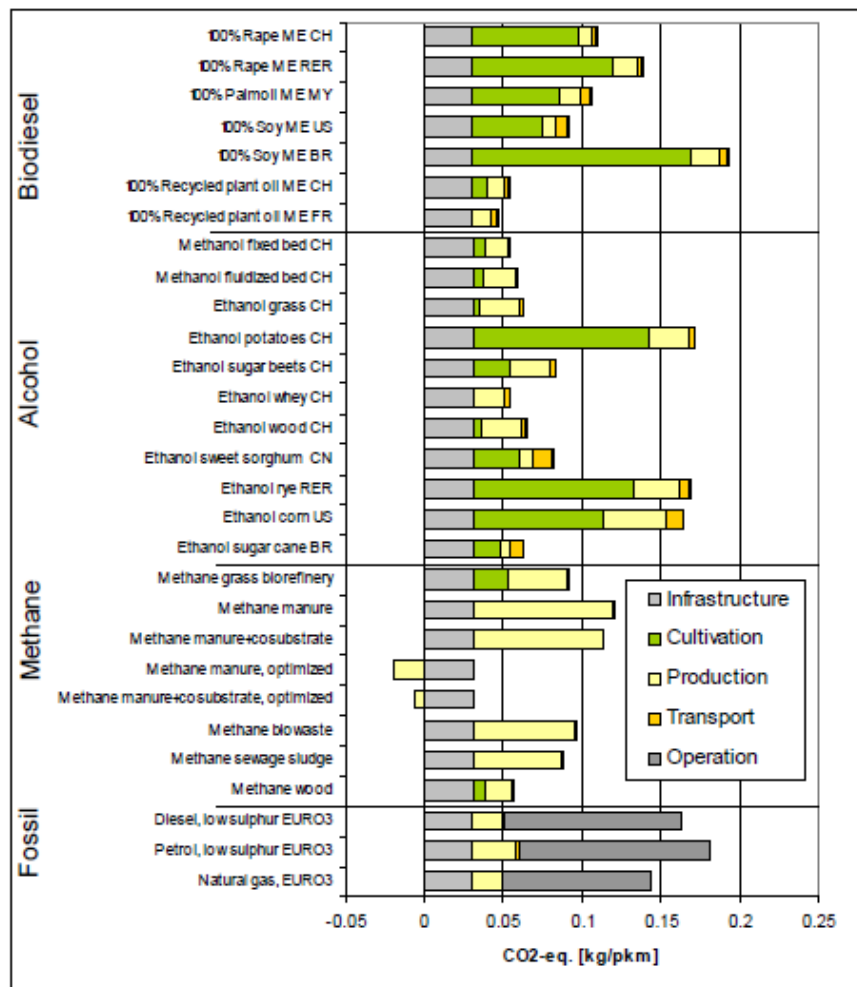
Al tener presencia de oxígeno el combustible hay un incremento en la emisión de O₂, esto es debido a que se mejora el proceso de combustión al incrementar el contenido de oxígeno en la mezcla aire-combustible.

HC

La presencia de hidrocarburos totales no quemados en los gases de escape se debe principalmente a tres mecanismos: a) una combustión incompleta, que ocurre tanto en mezcla rica como en mezcla pobre, o cuando la mezcla aire-combustible contiene gran cantidad de gases de escape, lo que ocasiona una disminución en la propagación de la flama en la cámara de combustión, b) Flama efecto “enfriamiento rápido”, que tiene lugar cerca de la cámara de combustión y c) a los depósitos de aceite que absorbe el combustible. Se tiene una reducción en la emisión de HC debido a que la combustión mejora por la presencia de O₂.

Del estudio Life Cycle Assessment of Energy Products: Environmental Assessment of Biofuels. Suiza, 2007, se extrae la figura 1.1 en la cual se presenta una comparación de la producción de gases de efecto invernadero distribuida a lo largo de todo el ciclo de vida del biodiesel, alcoholes (metanol y etanol), el metano y de los combustibles fósiles.

Figura 1.1 Comparación de los gases de efecto invernadero emitidos por los biocombustibles y por los combustibles fósiles



Fuente: Life Cycle Assessment of Energy Products: Environmental Assessment of Biofuels, 2007.

En la figura 1.1 se observa lo siguiente (Life Cycle Assessment of Energy Products, 2007):

- **Cultivo:** Las mayores proporciones de gases de efecto invernadero se producen en el cultivo agrícola a través del uso de maquinaria, fertilizantes y/o pesticidas, y también como emisiones directas (ejm. Óxido nítrico).

Este porcentaje varía mucho de un producto a otro. Los factores más importantes para la emisión de gases de efecto invernadero en la fase agrícola son: rendimiento por área, emisiones de óxido nitroso y la tala de la selva tropical.

Respecto al rendimiento por área es alto en el caso de la remolacha azucarera de Suiza o de la caña de azúcar de Brasil, pero bajo en el caso de las papas de Suiza o el centeno de Europa. Las más altas tasas de tala de bosque tropical se tienen en Malasia con el aceite de palma y en Brasil con el aceite de soya. Las diferencias regionales en la intensidad de deforestación pueden tener un efecto relevante en el resultado final.

- El proceso de producción del combustible: En promedio causa mucho menos emisiones de gases de efecto invernadero que el cultivo agrícola. Durante la producción del bioetanol las emisiones pueden ser muy variadas debido a que se pueden utilizar combustibles fósiles (bioetanol obtenido de maíz en USA) o desechos de la fase agrícola como fuente de energía (bagazo en el caso de la caña de azúcar de Brasil)
- Transporte del Combustible: Este es un estudio que considera el transporte desde cualquier país mencionado en la figura 1.1 hasta las estaciones de servicio en Suiza. Sin embargo, en los cálculos se obtiene un porcentaje menor al 10% debido a este transporte siempre y cuando el mismo sea hecho en buques tanque o en polductos.
- La utilización del combustible en vehículos: las emisiones de CO₂ equivalentes en el caso de la utilización de biocombustibles puros es neutral porque todo el CO₂ emitido al ambiente es rápidamente absorbido durante el crecimiento de los cultivos.

1.3. IMPACTO SOBRE EL AGUA DULCE

La mayoría de los procesos de obtención de etanol utilizan gran cantidad de agua, por lo que el incremento de su producción tiene como consecuencia un

mayor requerimiento de este elemento. La fase agrícola de la caña de azúcar es eficiente en el uso de agua. La destilación de alcohol y el posterior tratamiento y uso de agua puede ser realizado con un circuito cerrado de utilización de este recurso.

En áreas relativamente pequeñas o medianas el uso del agua es un tema manejable, pero cuando son miles o cientos de miles las hectáreas que se piensen incorporar para la producción agrícola, es necesario no perder de vista la disponibilidad de este recurso.

Por los fines no alimenticios de estos cultivos, se podría analizar la opción del uso de aguas residuales, las cuales, en vez de ser vertidas sin mayor tratamiento a ríos y cursos de agua, podrían ser reaprovechados casi directamente en el riego de estos cultivos energéticos.

Para intensificar el cultivo de la caña se debe utilizar mayor cantidad de fertilizantes. El impacto ambiental del uso de fertilizantes es el arrastre de Nitrógeno y Fósforo hacia los cuerpos de agua en donde proliferan las bacterias y disminuye el Oxígeno disuelto disponible.

En el proceso de producción de alcohol se producen las vinazas. Estos residuos líquidos provienen de la primera destilación del alcohol. Esta columna se alimenta con el vino que está entre 5-8 por ciento de alcohol, se obtiene por la parte superior alcohol al 90% y por la parte inferior de la columna salen las vinazas sin contenido alcohólico. Este residuo tiene un alto contenido de materia orgánica.

La vinaza puede ser tratada por un proceso biológico anaerobio por el cual se reduce de un 80% a un 85% la carga orgánica y pasar así a utilizarse como agua de riego en la siembra de la caña, beneficiando el cultivo por su contenido de nutrientes. Este es un ejemplo de reutilización de aguas en el proceso. Estas soluciones implican la instalación de nuevos procesos en las plantas para proteger el recurso del agua.

1.4. SEGURIDAD ALIMENTARIA

En la actualidad el mercado del azúcar en el Ecuador se halla en un periodo de estabilidad, el azúcar que se produce cubre las demandas internas, como se analiza en el capítulo 3. En las fábricas de alcohol del país se trabaja con la melaza que es un subproducto de la producción de azúcar.

La producción de alcohol en grandes cantidades a partir de la caña de azúcar puede generar un posible conflicto con la producción de azúcar si no se realiza el balance necesario para que no exista un desequilibrio tanto productivo como económico.

En el año 2012 según la Revista El Agro el consumo de azúcar en el Ecuador fue de 34 kilos/ habitante /año. En el año 2010 el consumo era de 32-33 kilos/ habitante /año, el incremento se debe al aumento del consumo de bebidas azucaradas. Aun cuando nutricionalmente no es requerido por el ser humano hay una cultura de consumo de este producto muy arraigada en las costumbres alimenticias en el país.

Según un estudio de las Naciones Unidas (2000) sobre los consumos de azúcar por habitante por año, los valores más altos corresponden a Costa Rica y Panamá (alrededor de 66 kilogramos anuales), Brasil (56), México (43), la Unión Europea (39) y los Estados Unidos (33). A pesar de consumir grandes volúmenes absolutos del producto, India y China registran reducidos índices de consumo por habitante (15 y 6 kilogramos anuales, respectivamente). Dado el nivel actual del consumo absoluto de azúcar de estos dos países (16 millones de toneladas en India y 9 millones en China), todo incremento significativo de sus respectivos consumos por habitante tendrá consecuencias considerables sobre el mercado mundial. En particular, el mercado chino aparece como uno de los más importantes espacios de posible crecimiento de la demanda mundial de azúcar en los próximos años.

De lo anterior se puede ver que el Ecuador tiene un consumo de azúcar similar a Estados Unidos y que está en una posición intermedia comparado con los países mencionados en el estudio de las Naciones Unidas. Adicionalmente el consumo de azúcar podría tender al alza debido a las costumbres alimenticias de la época.

Se debe tomar en cuenta que el azúcar tiene sustitutos como los edulcorantes y la estevia, pero los precios a los cuales se venden estos productos no están al alcance de la mayor parte de la población por lo que en el presente estudio se va a considerar que el azúcar no tiene un sustituto, y analizar con esta premisa si hay suficiente materia prima para abastecer el requerimiento interno del país.

En Ecuador se debe analizar la disponibilidad de tierras para expansión de la producción sin comprometer la agricultura de alimentos. Este estudio lo ha llevado a cabo el Banco Interamericano de Desarrollo en Colombia (2012) y se ha determinado la dimensión real de la posible expansión de las áreas de cultivo sin provocar cambios de uso de suelo que perjudiquen el balance de CO₂ y no pongan en riesgo la seguridad alimentaria.

En Ecuador se cuenta con un sector cañero desarrollado y competitivo establecido desde la Colonia. La industria azucarera del país es capaz de garantizar su suministro interno y/o exportar su producción.

Hay que tener en cuenta la magnitud del cambio que se desea hacer en la proporción de biocombustible en el combustible tradicional y la velocidad con la se requiere este cambio, ya que esto podría poner en riesgo el suministro de alimentos.

1.5. FACTORES ECONOMICOS Y SOCIALES

La producción de caña de azúcar tiene una tradición desde la época colonial en el país. Se han desarrollado comunidades enteras alrededor de algunos ingenios. Un ejemplo de esto es el Ingenio Valdez que fue fundado en 1884 por Rafael Valdez Cervantes. A partir de 1996 el Consorcio Nobis dirige la empresa hasta la actualidad. Las instalaciones de Compañía Azucarera Valdez S.A. están ubicadas en la región sur-oriental de la Provincia del Guayas, cantón Milagro, a 40 kilómetros de la ciudad de Guayaquil. La ciudad de Milagro prácticamente ha crecido alrededor del ingenio, ahora tiene una población de alrededor de 130.000 habitantes, es la tercera ciudad por número de habitantes en la provincia del Guayas después de Guayaquil y Durán.

Existe la gran ventaja que estas agroindustrias ya están previamente establecidas en el país y se dispone de mano de obra calificada. En el Ecuador se estima que en época de zafra 25.000 personas que laboran directamente y 100.000 personas en labores indirectas. Esto se da en las provincias de Guayas, Cañar, Los Ríos, Imbabura y Loja. No solo se crean puestos de trabajo en el sector agrícola sino también en el de la transformación de la melaza en alcohol etílico anhidro. El uso de biocombustibles mantiene la actividad agrícola y estabiliza la población rural.

La mayor parte de los cultivos de caña son propiedad de los ingenios. En menor porcentaje los agricultores de la zona siembran el resto de la caña que los ingenios utilizan en la producción.

Los ingenios azucareros tienen un gran volumen de bagazo el cual es utilizado en la generación eléctrica, por lo que pueden proveer de seguridad energética en las zonas rurales. Actualmente la energía eléctrica que se produce en los ingenios es vendida al mercado eléctrico mayorista.

Otro aspecto positivo del uso de biocombustibles es la reducción de la dependencia de los derivados del petróleo que son importados. Como pueden producirse a partir de insumos locales, los biocombustibles pueden contribuir en la reducción de importaciones de diésel y/o gasolinas y mejoran la balanza comercial. En el país se importa Nafta de Alto Octano para ser mezclada con Nafta Base y poder alcanzar los estándares de calidad que exige el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN).

Las posibilidades económicas a largo plazo dependen en un grado decisivo de los precios de la energía fósil, el desarrollo de las materias primas agrícolas y las innovaciones tecnológicas que tengan lugar en la cosecha, la conversión y la utilización de los biocombustibles.

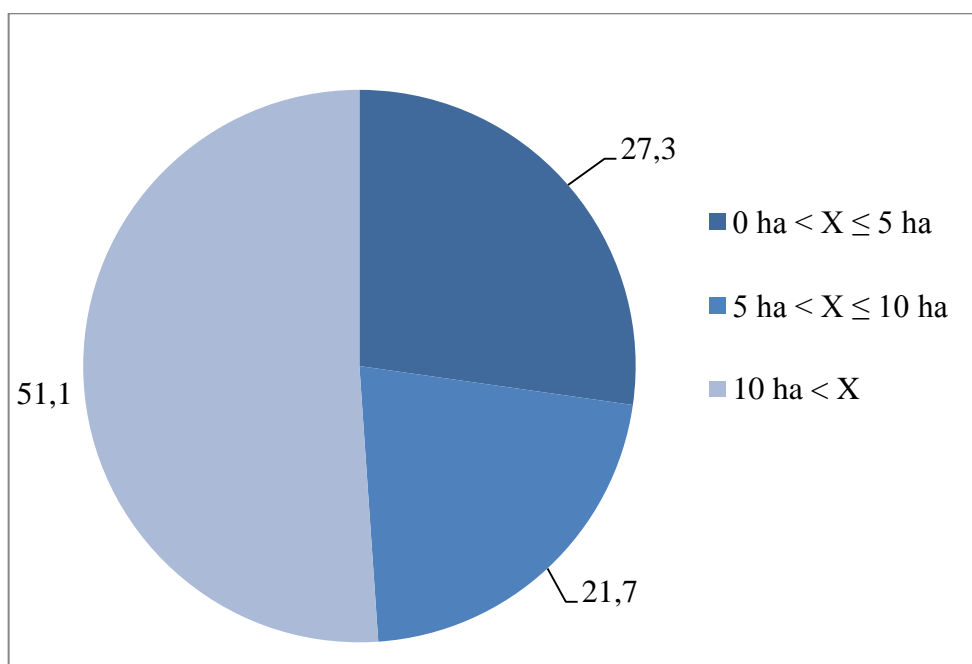
El Anuario PNUMA 2009, Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente, menciona lo siguiente: "El desarrollo de normas a nivel mundial que establezcan principios de sostenibilidad y criterios para la toma de decisiones, será

un paso importante hacia las decisiones políticas apropiadas, cuando estas se apliquen en combinación con mejores herramientas biogenéticas de mapeo y una mayor comprensión de prerequisites y necesidades locales". Los proyectos para la producción de biocombustibles en pequeña escala, con el objetivo de promover el autoabastecimiento energético rural en el mundo en desarrollo, plantean un desafío a la creatividad frente al escenario dominante de biocombustibles destinados a cubrir las necesidades del transporte mundial.

Uno de los objetivos del gobierno ecuatoriano es impulsar la producción de biocombustibles de tal manera que el pequeño agricultor sea el mayor beneficiado. En el sector agrícola rural del Ecuador hay gran variedad en características como el tamaño del predio (micro-fundistas, minifundistas, pequeños, medianos y grandes productores), la cultura de los pobladores (indígenas, mestizos y blancos), su ubicación geográfica (Costa, Sierra, Oriente, Galápagos), entre otros. Se ha generalizado tres categorías de Unidades Productivas (UPAs): familiares de subsistencia, empresariales tradicionales y empresariales "de punta". Alrededor del 53% de total de UPAS son de subsistencia y se encuentran ubicadas principalmente en la Sierra (76% de las UPAs están en la Sierra); 42,5% se ubican en las empresariales tradicionales y se concentran en la Costa y la Sierra y el 4,5% son empresariales de punta, concentradas ante todo en la Costa. La Sierra y la Costa cubren 93% de todas las UPAs. La agricultura de la Costa tiene mayores índices de productividad y el tamaño de los predios es mayor. Del estudio realizado por CEPAL, año 2000, (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) se desprende que mientras las explotaciones de subsistencia poseen 4,5 hectáreas, las tradicionales tenían 11,4 y las "de punta" 64,7 en promedio.

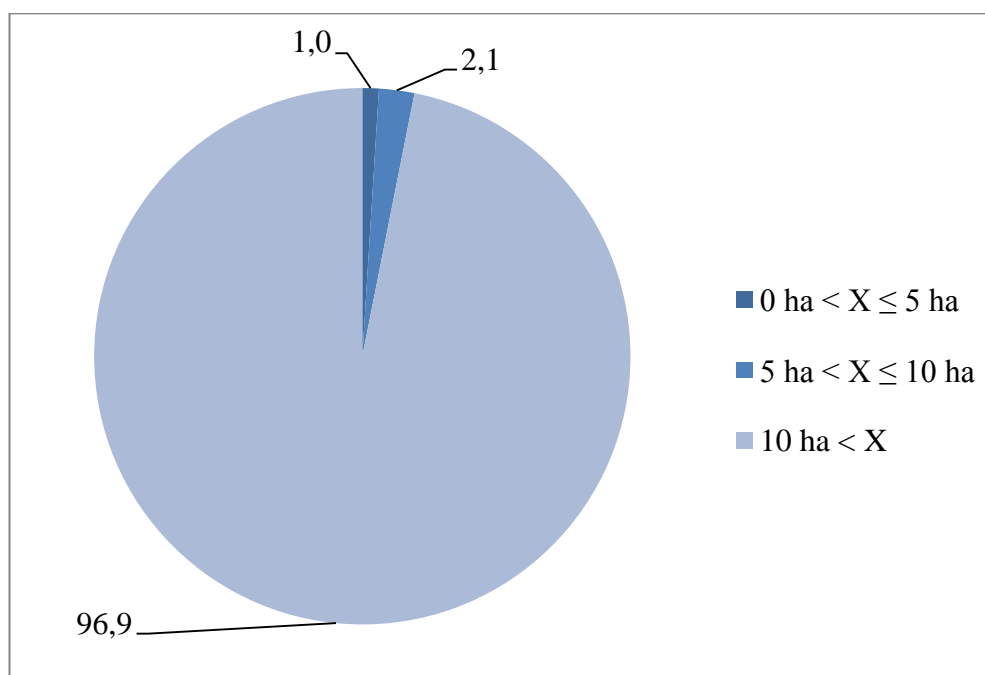
A continuación se presenta una descripción gráfica de la distribución de UPAs en el Ecuador dedicadas al cultivo de la caña de azúcar tanto para producción de azúcar así como para otros como la panela y el aguardiente. Se ha clasificado las UPAs de 0 hectáreas hasta 5 hectáreas, de 5 hectáreas hasta 10 hectáreas y de 10 hectáreas en adelante.

Gráfico 1.1 Porcentaje de UPAs clasificadas por su extensión que se dedican al cultivo de caña de azúcar para producción de azúcar



Fuente: Proyecto “Programa Nacional de Agro-energía”, MAGAP. III Censo Nacional Agropecuario, INEC.
Elaboración: Propia

Gráfico 1.2 Porcentaje de hectáreas plantadas clasificadas según la extensión de las UPAs que se dedican al cultivo de caña de azúcar para producción de azúcar



Fuente: Proyecto “Programa Nacional de Agro-energía”, MAGAP. III Censo Nacional Agropecuario, INEC.
Elaboración: Propia

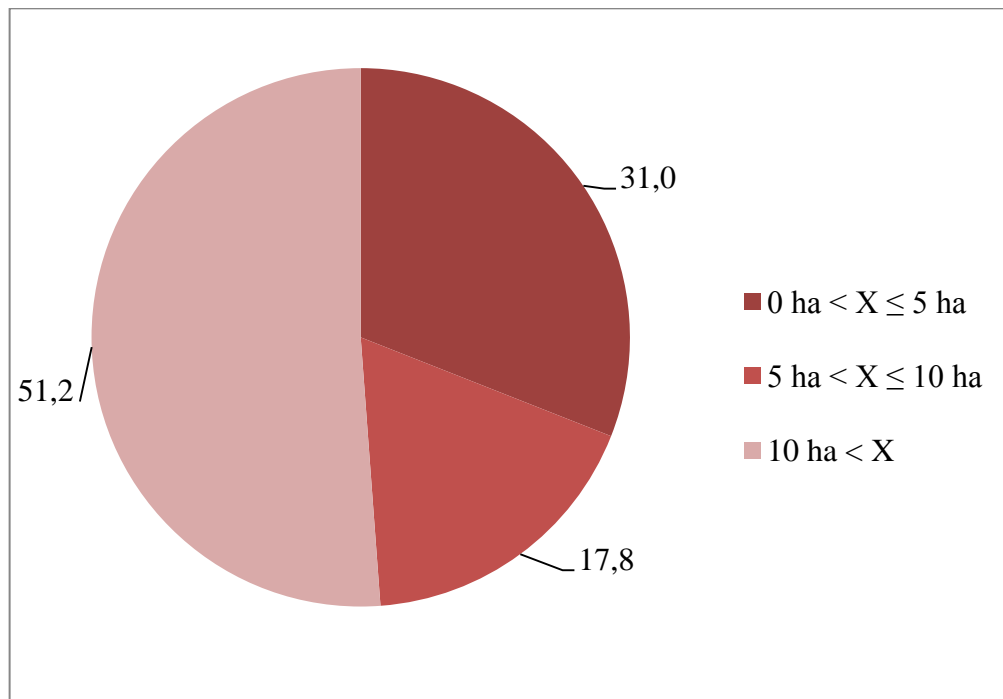
En los gráficos 1.1 y 1.2 se describe la distribución de las Unidades Productivas destinadas para la obtención de azúcar exclusivamente. Como se observa en el gráfico 1.1 alrededor del 50% de las UPAs son mayores a 10 hectáreas y en el gráfico 1.2 se aprecia que casi la totalidad de la superficie plantada de los cultivos que tienen este fin corresponde a esa misma clasificación de tamaño de UPAs. Se puede decir que casi la totalidad de la superficie plantada dedicada al cultivo de caña de azúcar para azúcar pertenece a escala económica media o grande.

En los gráficos 1.3 y 1.4 se describe la distribución de las Unidades Productivas destinadas para la obtención de otros productos (distinto al azúcar) a partir de la caña de azúcar. Se puede ver en el gráfico 1.3 que al igual que el caso anterior, alrededor del 50% de las UPAs son mayores a 10 hectáreas y en el gráfico 1.4 se observa que el 67,5% de la totalidad de la superficie plantada de la caña de azúcar destinada para otros usos es mayor a 10 hectáreas. Comparando con el caso anteriormente descrito no se incrementa el número de UPAs que pertenecen a pequeños y medianos agricultores, sin embargo, la superficie total plantada de este tipo de agricultores se incrementa del 3,1% al 32,5%.

Los gráficos 1.5 y 1.6 muestran en porcentajes la cantidad de UPAs y la superficie plantada por provincia utilizada para el cultivo de caña de azúcar para azúcar. La producción de azúcar en el país está principalmente concentrada en Guayas y en menor proporción en Imbabura, Loja y Cañar.

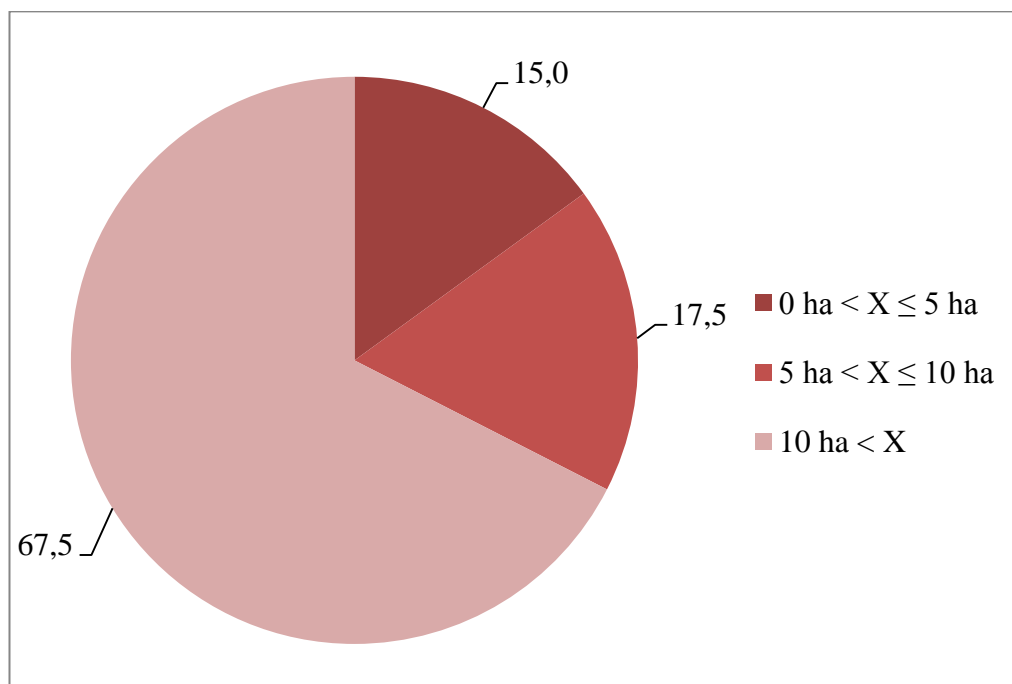
Los gráficos 1.7 y 1.8 muestran en porcentajes la cantidad de UPAs y la superficie plantada por provincia que se dedican al cultivo de caña de azúcar para otros usos. Se observa que los cultivos para este fin están mucho más difundidos a través de todas las provincias continentales del país a excepción de Orellana. Todos los datos de soporte de los gráficos presentados en este capítulo se encuentran en el Anexo A.

Grafico 1.3 Porcentaje de UPAs clasificadas por su extensión que se dedican al cultivo de caña de azúcar para otros usos



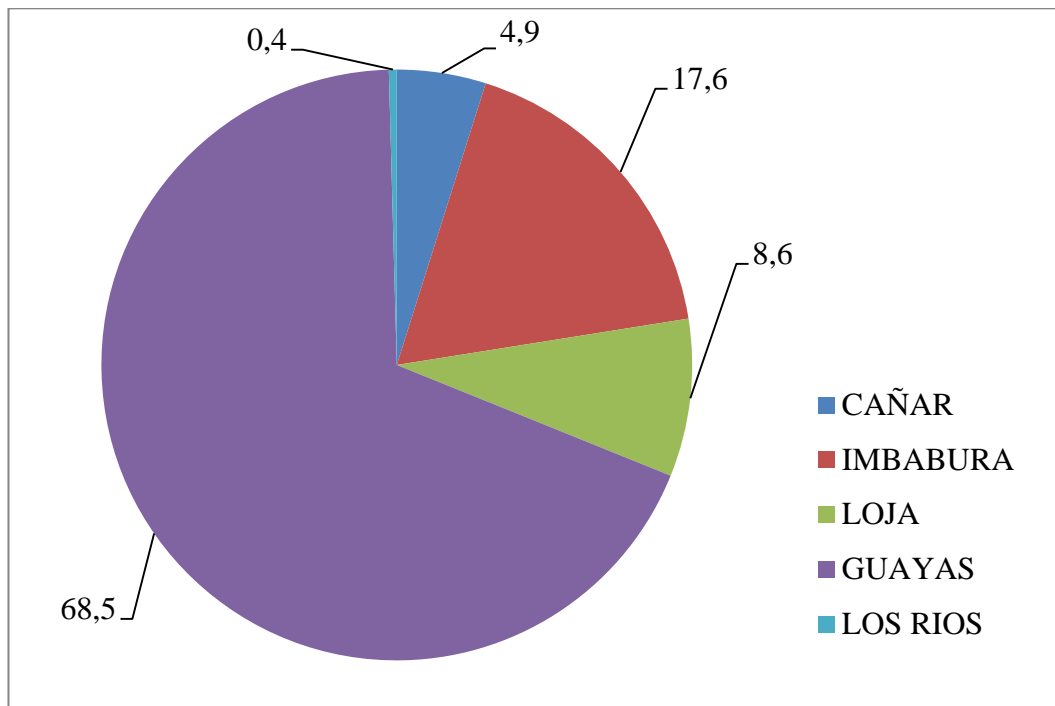
Fuente: Proyecto “Programa Nacional de Agro-energía”, MAGAP. III Censo Nacional Agropecuario, INEC.
Elaboración: Propia

Gráfico 1.4 Porcentaje de hectáreas plantadas clasificadas según la extensión de las UPAs que se dedican al cultivo de caña de azúcar para otros usos



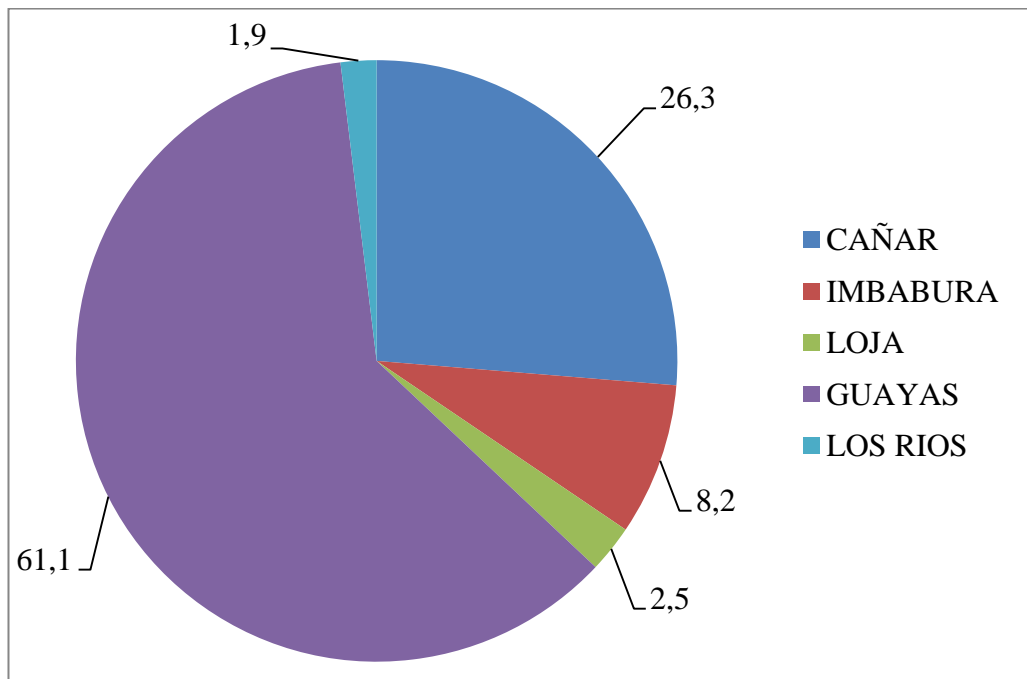
Fuente: Proyecto “Programa Nacional de Agro-energía”, MAGAP. III Censo Nacional Agropecuario, INEC.
Elaboración: Propia

Gráfico 1.5 Porcentaje de UPAs por provincia que se dedican al cultivo de caña de azúcar para producción de azúcar



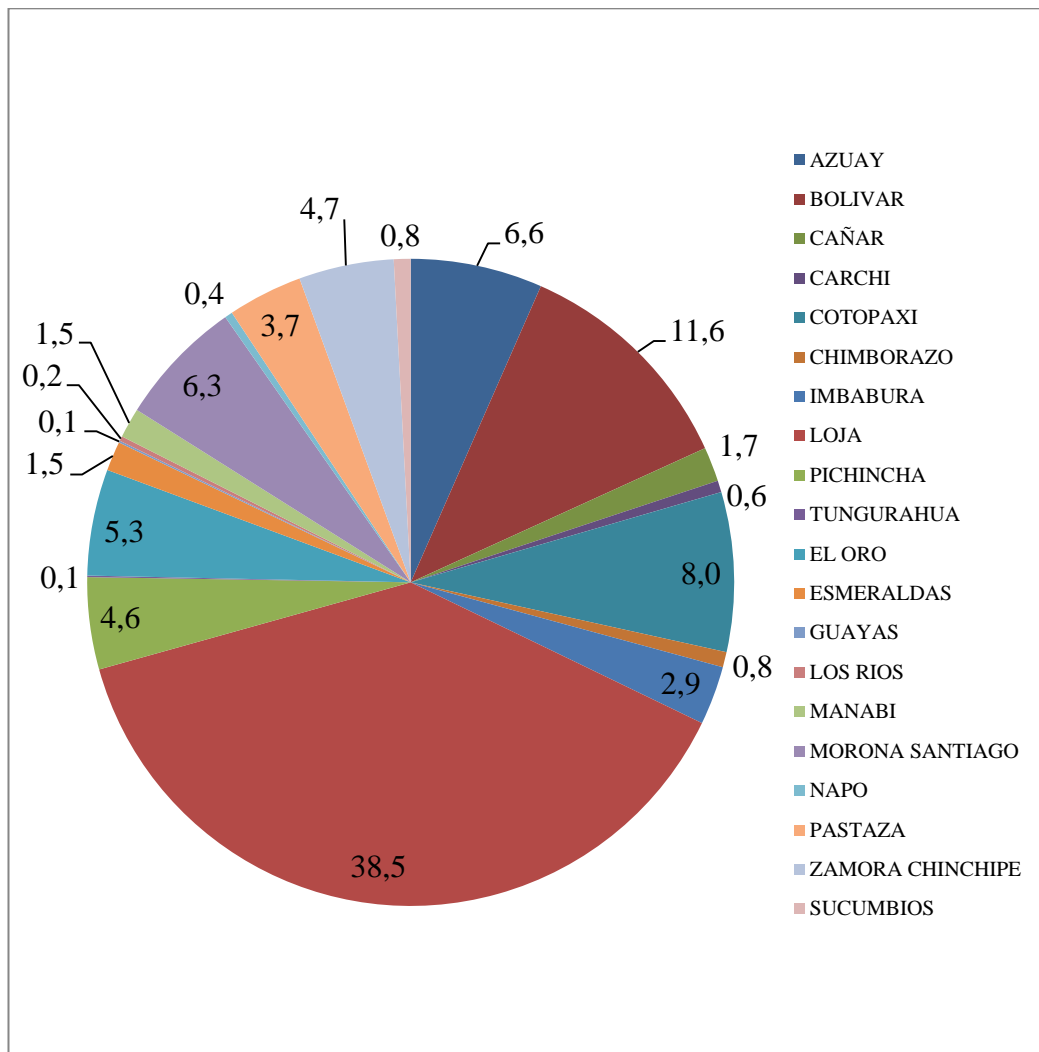
Fuente: Proyecto “Programa Nacional de Agro-energía”, MAGAP. III Censo Nacional Agropecuario, INEC.
Elaboración: Propia

Gráfico 1.6 Porcentaje de superficie plantada por provincia utilizadas para el cultivo de caña de azúcar para producción de azúcar



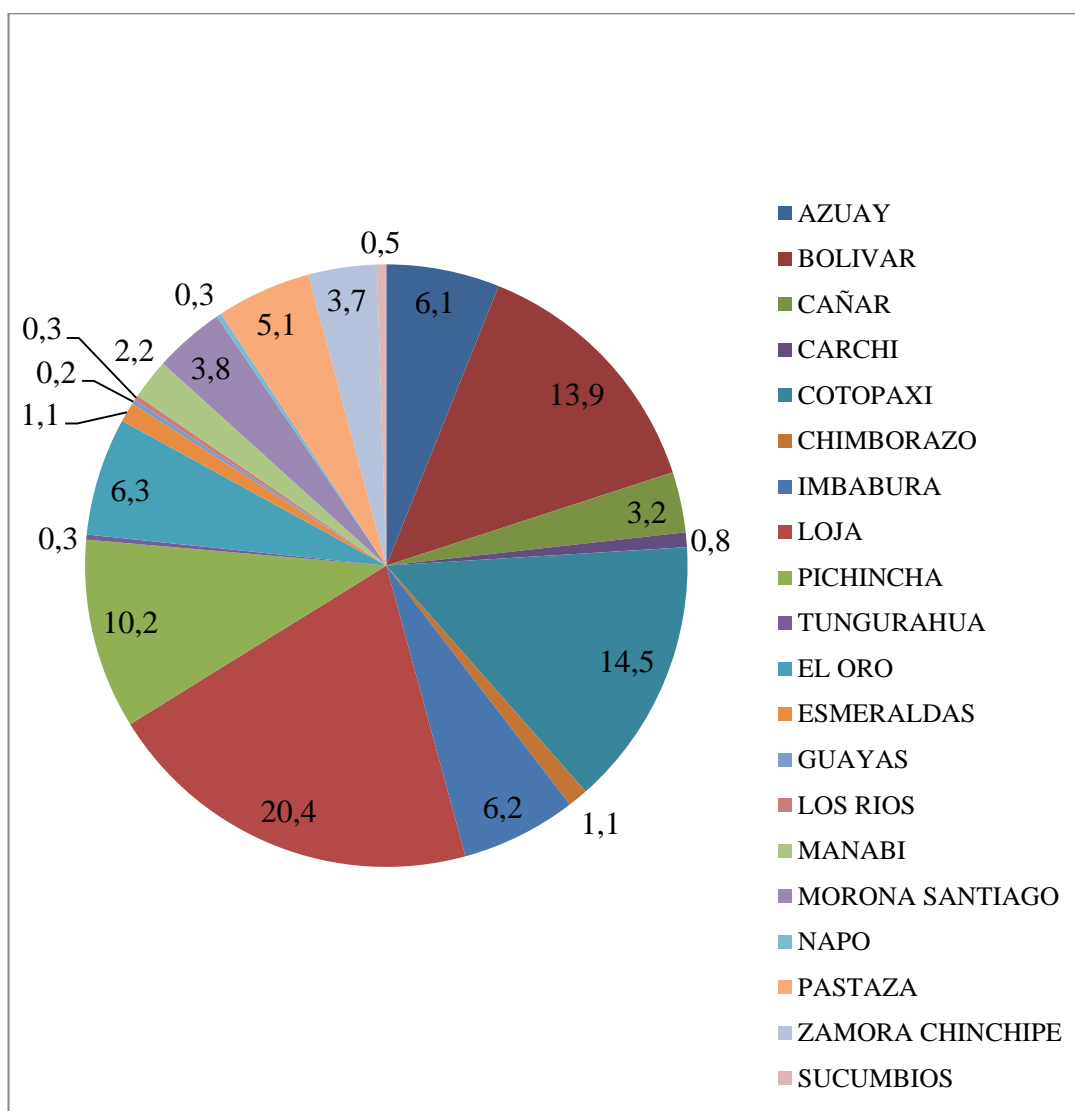
Fuente: Proyecto “Programa Nacional de Agro-energía”, MAGAP. III Censo Nacional Agropecuario, INEC.
Elaboración: Propia

Gráfico 1.7 Porcentaje de UPAs por provincia que se dedican al cultivo de caña de azúcar para otros usos



Fuente: Proyecto “Programa Nacional de Agro-energía”, MAGAP. III Censo Nacional Agropecuario, INEC.
Elaboración: Propia

Gráfico 1.8 Porcentaje de superficie plantada por provincia utilizadas para el cultivo de caña de azúcar para otros usos



Fuente: Proyecto “Programa Nacional de Agro-energía”, MAGAP. III Censo Nacional Agropecuario, INEC.
Elaboración: Propia

CAPÍTULO 2: CICLO DE ELABORACIÓN DE ETANOL ANHIDRO Y ESTADÍSTICAS DE PRODUCCIÓN A NIVEL MUNDIAL, REGIONAL Y NACIONAL

2.1. LA CAÑA DE AZÚCAR

2.1.1. Aspectos Botánicos

La caña de azúcar es una planta tropical perenne, perteneciente a la familia de las Gramíneas, de la especie *Saccharum Officinarum L.* Originaria de zonas tropicales de Asia del Sur y del Sudeste Asiático. Su tallo alcanza entre 2 y 6 m de altura y oscila entre 3 y 6 cm de diámetro. En regiones tropicales el período de crecimiento de la caña dura entre 12 y 18 meses. (La Caña de Azúcar, MIPRO).

2.1.2. Composición Nutricional

El tronco de la caña de azúcar está compuesto por una parte sólida llamada fibra y una parte líquida conocida como jugo, que contiene agua y sacarosa.

Las proporciones de los componentes varían de acuerdo con la variedad (familia) de la caña, edad, madurez, clima, suelo, método de cultivo, abonos, lluvias, riegos, entre otros. En la tabla 2.1 se presentan los valores de referencia general para los componentes de la caña de azúcar. (La Caña de Azúcar, MIPRO).

Tabla 2. 2 Composición nutricional de la caña de azúcar

Componente	Valor (%)
Agua	73-76
Sacarosa	8-15
Fibra	11-16
Glucosa	0,2-0,6
Fructosa	0,2-0,6
Sales	0,3-0,8
Ácidos orgánicos	0,1-0,8
Otros	0,3-0,8

Fuente: CORPESUCAR, Academia del Azúcar y del Alcohol
La Caña de Azúcar, Subsecretaría de Productividad, MIPRO

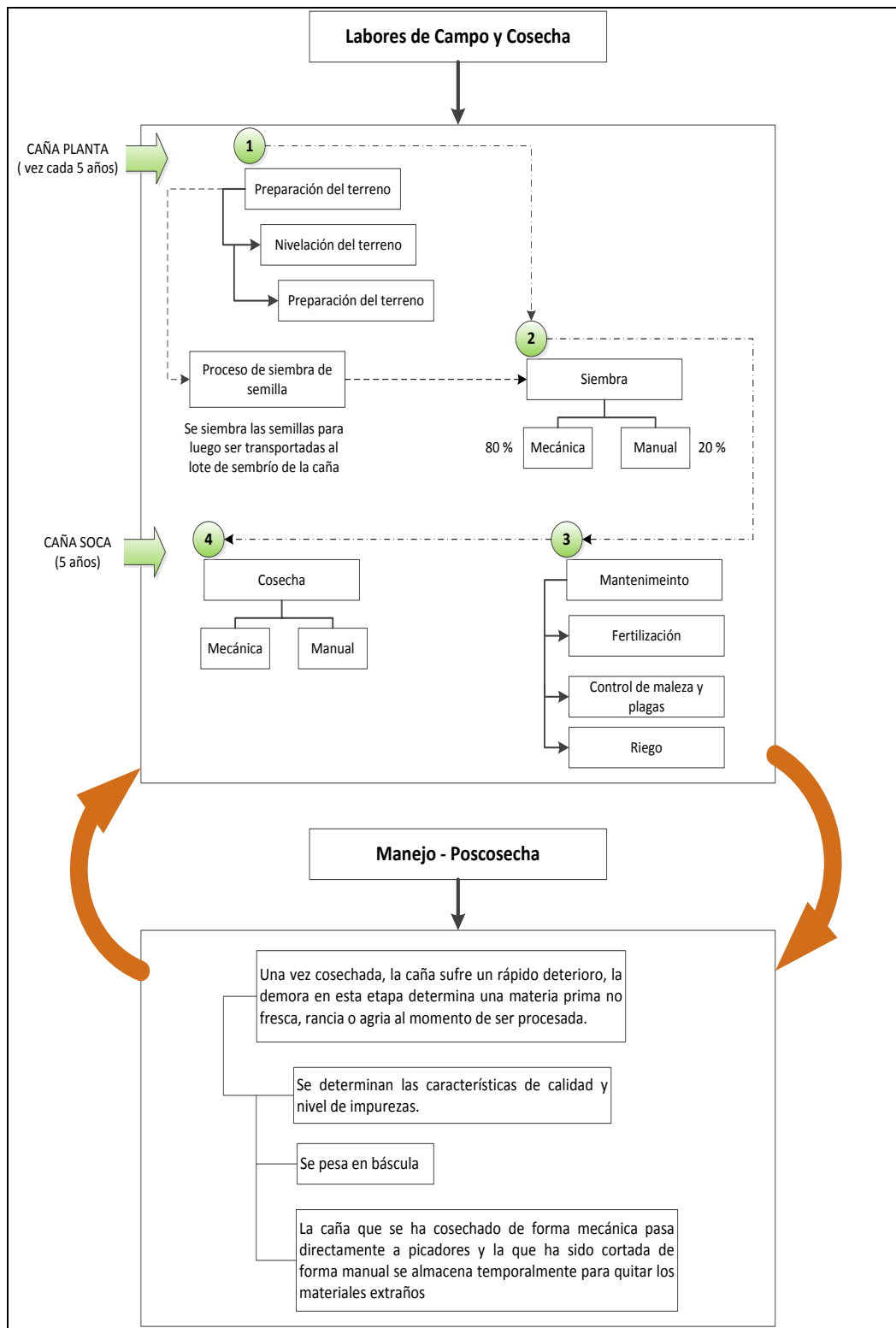
2.1.3. Requerimientos climáticos

La temperatura y la humedad, son los principales factores del clima que determinan el desarrollo de la caña. A continuación los factores más importantes para el crecimiento de la caña (La Caña de Azúcar, MIPRO):

- **Temperatura:** La caña de azúcar no soporta temperaturas frías (menores a 0 °C), aunque puede llegar a soportar heladas de corta duración de -1 °C. Sin embargo, para crecer exige un mínimo de temperaturas de 14 a 16 °C y la temperatura óptima de crecimiento debe situarse en torno a los 30 °C.
- **Precipitación:** Es óptimo contar con una precipitación de 1.500 y 3.000 mm distribuidos de la mejor manera durante el período vegetativo.
- **Humedad:** El rango de humedad relativa para un desarrollo favorable del tallo oscila entre 55% y 85 %. En el período previo a la cosecha, lo ideal es que haya una disminución de la humedad, que reduzca el crecimiento y favorezca la formación y concentración de sólidos.
- **Suelos:** Se adapta a casi todo tipo de suelos. Los suelos ligeros ayudan a una mejor formación de vegetación y mayor concentración de azúcar en la planta. En suelos pesados y de difícil manejo la caña de azúcar es muchas veces la única oportunidad de cultivo rentable.
- **Altitud:** El cultivo de caña de azúcar se adapta a alturas entre 1.000 y 1.200 m sobre el nivel del mar.
- **Riego:** El agua es vital en la agricultura. La caña de azúcar es un cultivo con alta eficiencia del uso consultivo del agua. Los rendimientos del campo y de azúcar son más altos donde las necesidades de agua sean atendidas correctamente. Estudios realizados en Australia reportan que el cultivo tiene un requerimiento óptimo de agua de 1.530 mm/año.
- **Luz:** Es uno de los factores básicos para la producción de azúcares por lo que su intensidad es muy importante. En condiciones normales de humedad, la radiación solar tiene gran influencia en el crecimiento, así como en la formación de azúcares y en su pureza. El período previo a la cosecha (maduración) debe ser relativamente seco, mientras que las horas de sol deben ser abundantes durante toda la temporada.

2.1.4. Proceso Productivo

Figura 2. 2 Proceso productivo de la caña de azúcar



Fuentes: Ingenio La Troncal
La Caña de Azúcar, Subsecretaría de Productividad, MIPRO

La caña de azúcar es un cultivo de ciclo largo que no requiere de un sembrío anual. Una vez realizada la siembra se pueden hacer cosechas sucesivas durante varios años, por lo general 5 años. Al primer año se lo conoce como “caña planta” y los siguientes años, al requerir solo labores de mantenimiento, se los denomina como “caña soca”. (La Caña de Azúcar, MIPRO)

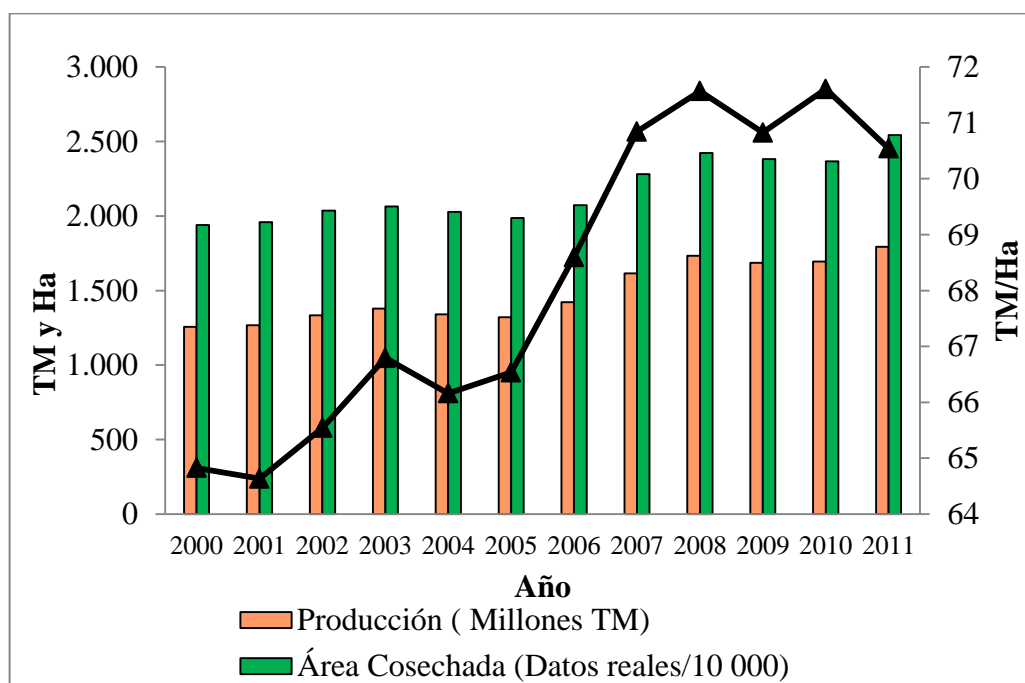
Las etapas de la producción de la caña de azúcar se detallan a continuación:

- **Preparación del terreno:** Se eliminan cepas de anteriores cosechas, se nivela el terreno para el nuevo cultivo y se trazan los surcos de tal manera que, la distancia entre cultivo es de 1,5 m y 0,4 a 0,5 m de profundidad. Esto se realiza la primera vez que se va empezar con el nuevo cultivo.
- **Siembra:** Se realiza mecánica o manualmente entre los meses de mayo y julio, si el clima es lluvioso se adelanta la siembra.
- **Fertilización:** La fertilización es importante ya que influye en el rendimiento de la cosecha. Durante el crecimiento se debe aplicar hojarasca del cultivo al suelo ya que aporta nutrientes al descomponerse. El principal fertilizante debe ser Nitrogenado. La cantidad de fertilizante que debe aplicarse depende de la fertilidad natural del suelo.
- **Riego:** El riego se realiza en un 80 % por gravedad, 10 % por aspersión y 10 % de forma mecanizada entre cada 15 y 40 días. Se realiza de acuerdo a las necesidades de la zona, tipo de suelo y estado fisiológico de la planta.
- **Control de maleza y plagas:** Se debe controlar aproximadamente a los 85 días de sembrada la caña el ataque principalmente de roedores y larvas que perforan los tallos, estos pueden ocasionar una disminución de hasta el 60 % del rendimiento.
- **Cosecha:** La planta se encuentra lista para la cosecha a los 12 o 18 meses. Antes de la cosecha se borra la acequia, se levantan las cañas derribadas y se queman las hojas, de tal manera, que el terreno queda listo para el corte manual o mecánico el cual se hace al ras de la tierra. La caña de azúcar tiene alta capacidad de rebote, en el Ecuador se renuevan los cultivos entre 4 y 8 años, en algunas zonas paneleras los cultivos tienen más de 20 años de antigüedad. Es importante la luz solar ya que disminuye los costos y riesgos de siembra, como también los costos de control de malezas.

2.1.5. Cultivo de la caña de azúcar a nivel mundial y regional

Basados en los datos de la Food and Agriculture Organization (FAO) y en el estudio sobre la Caña de Azúcar del MIPRO (2010) se elaboran los gráficos 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7 y 2.8. Los tres parámetros que se consideran son: Superficie Cosechada (Hectáreas), Producción (Toneladas Métricas) y Rendimiento (Toneladas métricas por Hectárea). Los datos de soporte de todo el capítulo 2 se encuentran en el Anexo B.

Gráfico 2. 9 Evolución de la superficie cosechada, producción y rendimiento mundial de caña de azúcar

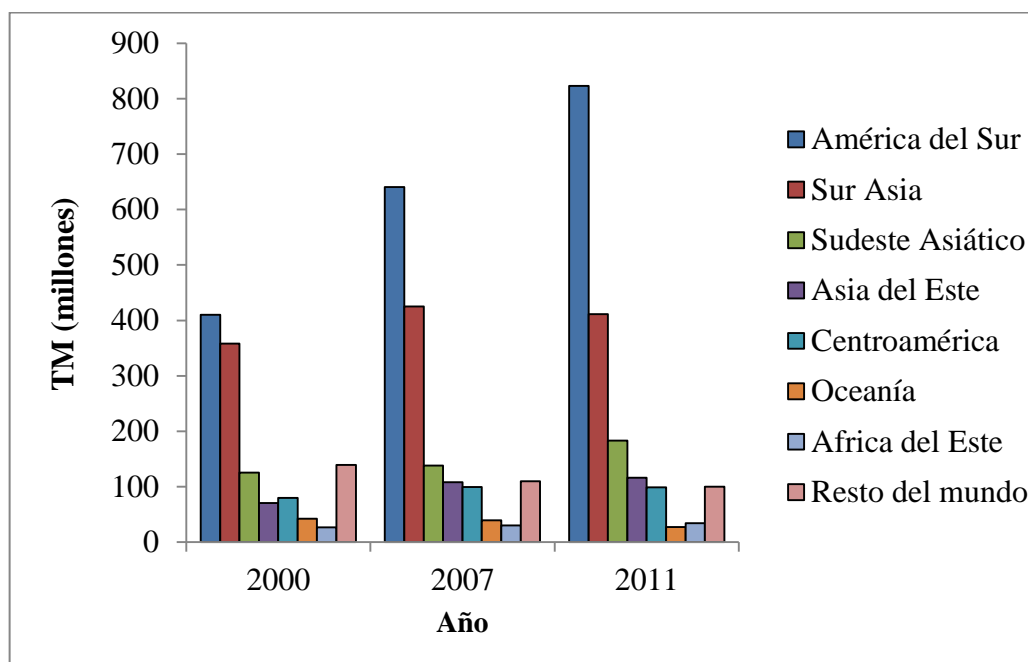


Fuentes: FAO, http://faostat3.fao.org/home/index_es.html?locale=es#DOWNLOAD
 La Caña de Azúcar, Subsecretaría de Productividad, MIPRO
 Elaboración: Propia

Hay un crecimiento sostenido del área cosechada desde el 2000 hasta el 2011. El crecimiento promedio anual en estos años es de 2,57 %.

En el año 2011 el área cosechada a nivel mundial de caña de azúcar alcanzó 25,4 millones de hectáreas comparado con el año 2000 en el cual el área cosechada era de 17,3 millones de hectáreas. Esto implica un aumento total del 31,8 % de tierras cosechadas con caña de azúcar a nivel mundial en un periodo de 11 años.

Gráfico 2. 10 Producción de caña de azúcar por regiones. 2000-2011

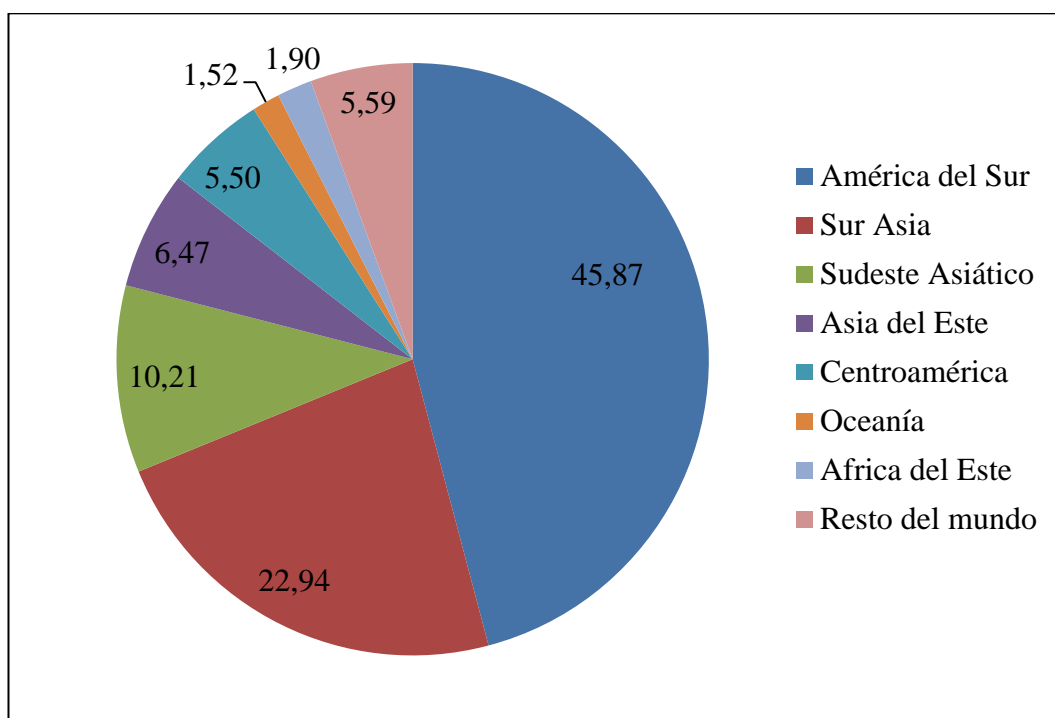


Fuentes: FAO, http://faostat3.fao.org/home/index_es.html?locale=es#DOWNLOAD
 La Caña de Azúcar, Subsecretaría de Productividad, MIPRO
 Elaboración: Propia

La evolución histórica de la producción de caña evidencia que América del Sur es la región con un porcentaje de mayor producción en el mundo con tendencia al crecimiento. En 11 años la producción de caña de azúcar se ha incrementado en un 100 %.

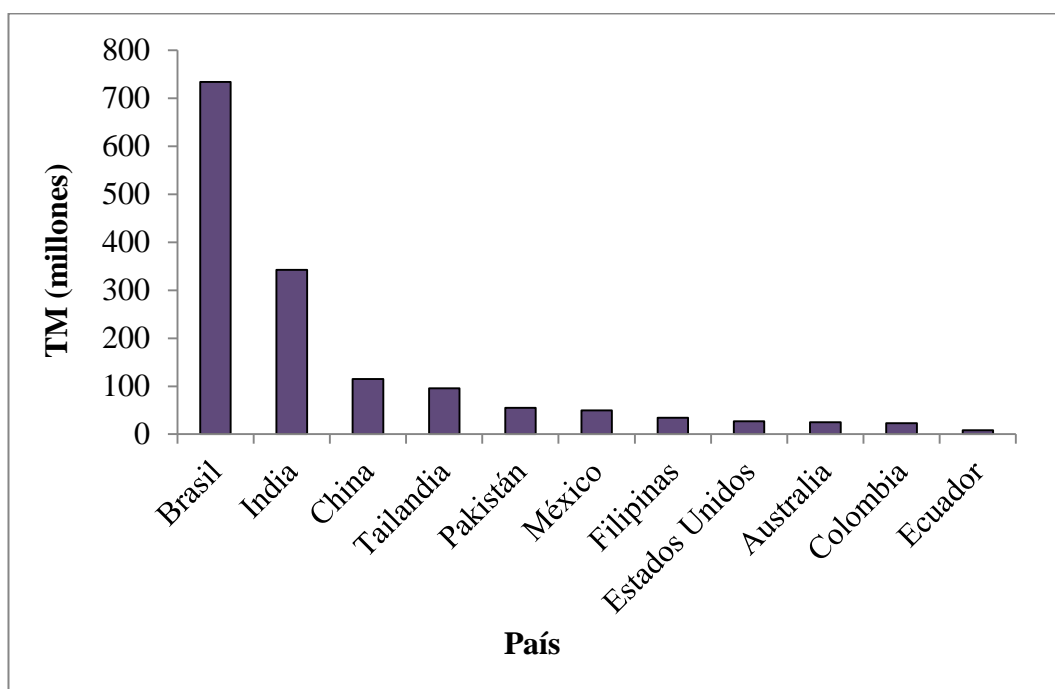
El Sur de Asia tiene una tendencia a disminuir el porcentaje de su participación del total de producción de caña de azúcar en el mundo, su incremento de producción desde el 2000 hasta el 2011 es del 15 %. El Sudeste Asiático mantiene su participación a nivel mundial e incrementa su producción en un 46% en el periodo en mención. Asia del Este incrementa ligeramente su participación en el total de la producción mundial y el incremento neto de su producción es de 64 %. Sumando los porcentajes de aportación a la producción mundial del Sur de Asia, Sudeste Asiático y Asia del Este en el año 2011 se tiene un total de 39,62 % lo cual no supera al aporte que realiza América del Sur que es de 45,87 %, de este porcentaje la mayor parte es producida por Brasil como se verá más adelante.

Gráfico 2. 11 Porcentaje de Producción de Caña de Azúcar por Regiones, 2011



Fuentes: FAO, http://faostat3.fao.org/home/index_es.html?locale=es#DOWNLOAD
 La Caña de Azúcar, Subsecretaría de Productividad, MIPRO
 Elaboración: Propia

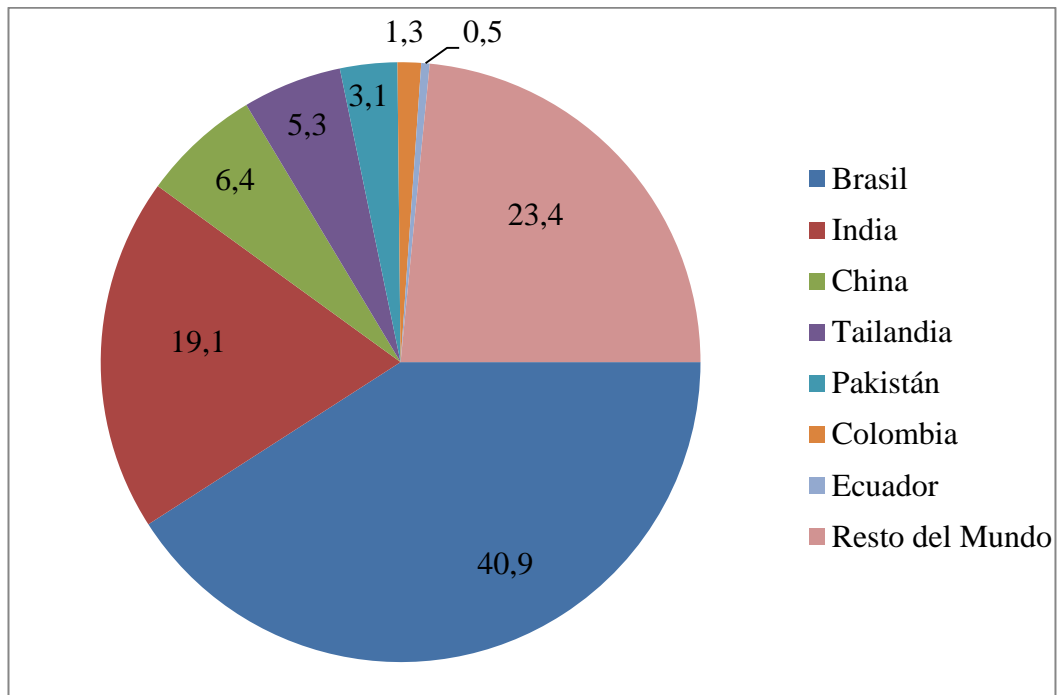
Gráfico 2. 12 Principales productores mundiales, incluido Ecuador para fines comparativos, 2011



Fuentes: FAO, http://faostat3.fao.org/home/index_es.html?locale=es#DOWNLOAD
 La Caña de Azúcar, Subsecretaría de Productividad, MIPRO

Elaboración: Propia

Gráfico 2. 13 Porcentaje de Producción a nivel mundial de los principales productores de Caña de Azúcar. Incluidos en el gráfico para fines comparativos: Colombia y Ecuador, 2011.



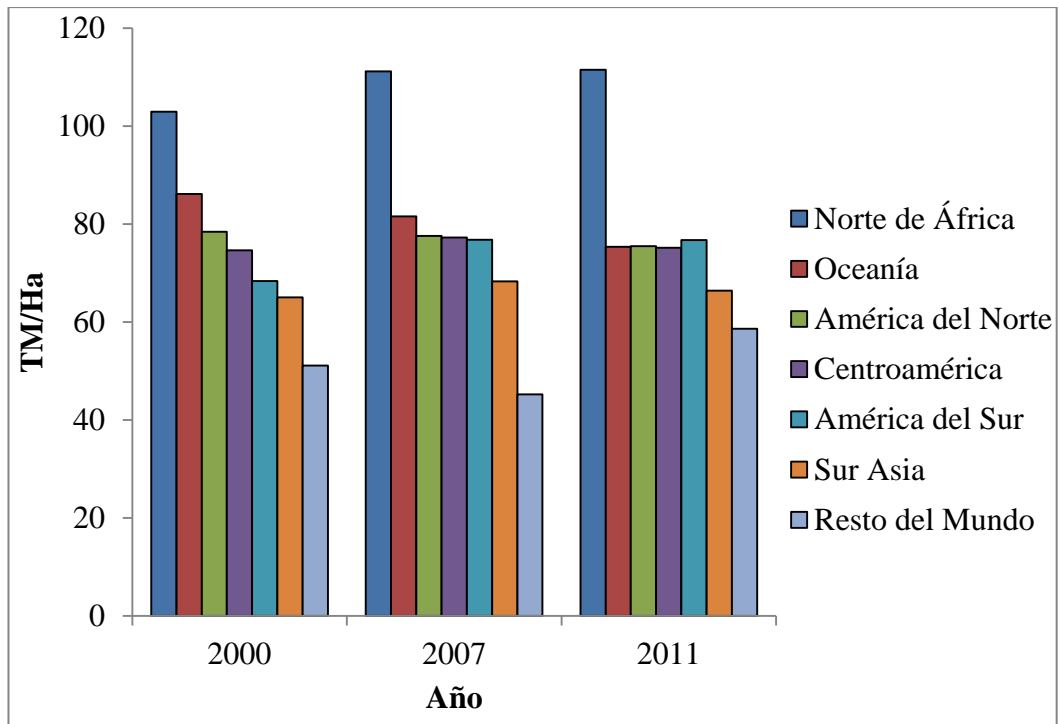
Fuentes: FAO, http://faostat3.fao.org/home/index_es.html?locale=es#DOWNLOAD
La Caña de Azúcar, Subsecretaría de Productividad, MIPRO
Elaboración: Propia

Para el año 2011 Brasil tiene una participación del 40% de la producción de caña de azúcar a nivel mundial y 89 % a nivel de América del Sur. Colombia tiene el 1,3 % a nivel mundial y 2,8 % a nivel regional. Ecuador participa con un 0,5 % a nivel mundial y un 1 % a nivel regional.

Brasil es el productor número 1 de caña de azúcar en el mundo, Colombia ocupa el lugar número 10 a nivel mundial. En América del Sur Colombia es el segundo productor después de Brasil que supera por mucho su producción. Ecuador ocupa el puesto 24 a nivel mundial.

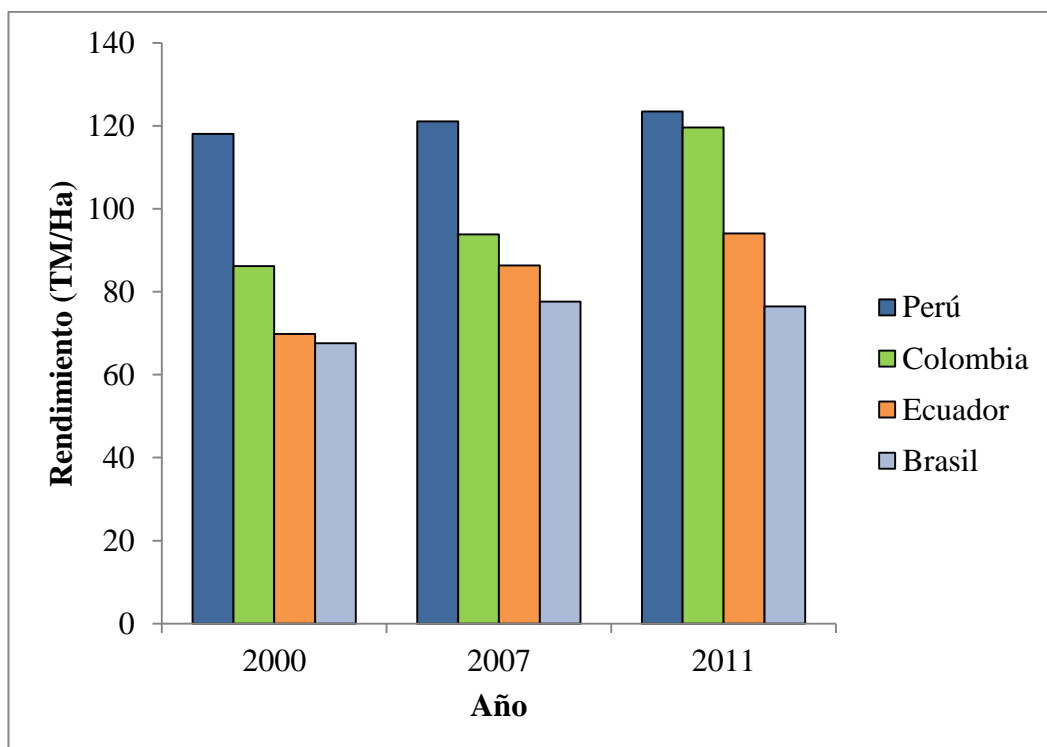
Brasil y la India suman el 60 % del total de producción mundial en el año 2011.

Gráfico 2. 14 Rendimiento productivo por regiones. 2000-2011



Fuentes: FAO, http://faostat3.fao.org/home/index_es.html?locale=es#DOWNLOAD
 La Caña de Azúcar, Subsecretaría de Productividad, MIPRO
 Elaboración: Propia

Gráfico 2. 15 Rendimiento productivo por países. 2000-2011



Fuentes: FAO, http://faostat3.fao.org/home/index_es.html?locale=es#DOWNLOAD
 Elaboración: Propia

En el Brasil el rendimiento por hectárea es de 76,45 toneladas /hectárea y en la India es de 60,7 toneladas/hectárea. El promedio de rendimiento a nivel mundial es de 65 toneladas/hectárea. (Rajagopal et al., 2007, para los datos mundiales; Naylor et al., 2007, para los datos nacionales).

Los principales productores, con las mayores extensiones de cultivo como Brasil, India y China tienen rendimientos más bajos con respecto a Perú por ejemplo. Según la FAO el Ecuador ocupa el lugar 16 del ranking de rendimiento a nivel mundial.

2.1.6. Cultivo de la caña de azúcar en el Ecuador

Los ingenios en el Ecuador que forman parte de CINCAE (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador) son: San Carlos, Valdez y La Troncal. Según esta institución en el país se cultivan alrededor de 80.000 hectáreas de caña. Los rendimientos normalmente son de 75 – 80 toneladas de caña por hectárea, en el año 2012 se tuvo un rendimiento de 90 toneladas por hectárea y se produjo alrededor de 11 millones de sacos de azúcar. (Dr. Edison Silva, Líder del Programa de Variedades).

En Ecuador existen 75 mil hectáreas de caña de azúcar y seis ingenios: Valdez y San Carlos, en Guayas; Ecudos, en Cañar; Iancem, en Carchi; Isabel María, en Los Ríos, y Monterrey, en Loja.

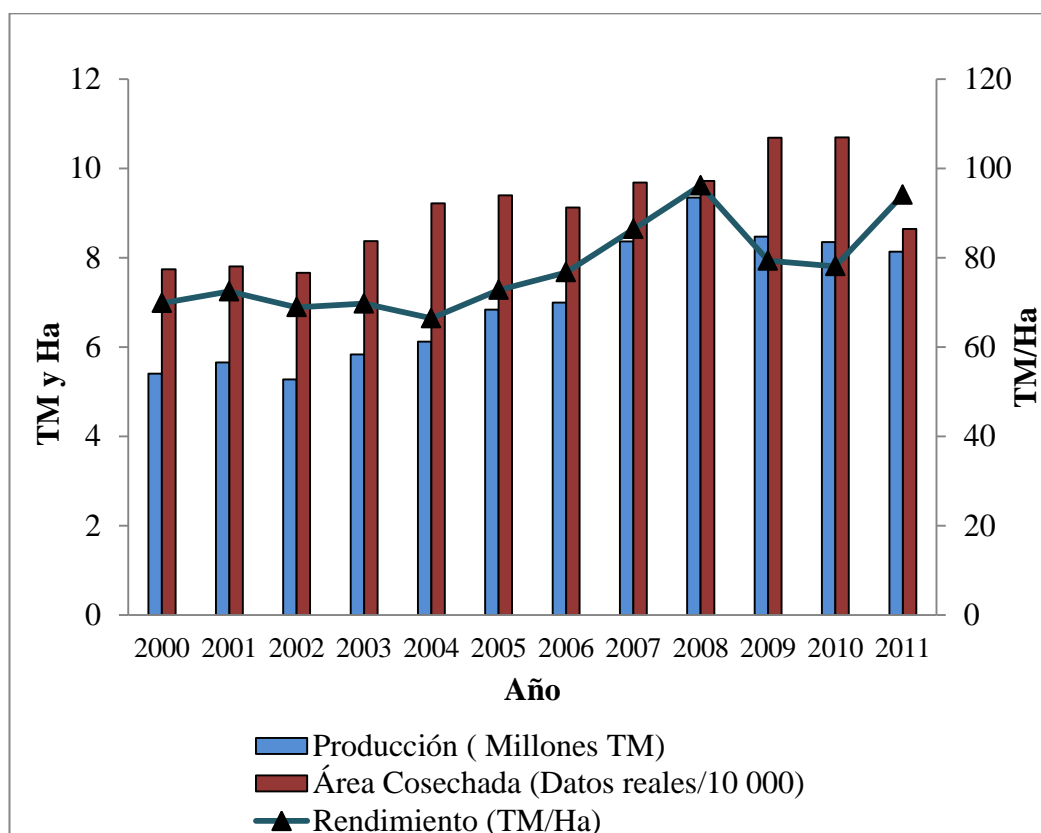
Según Fenazúcar (Federación Nacional de Azucareros del Ecuador), el incremento de la productividad no se debe al aumento de áreas sembradas, sino a que los ingenios están renovando en sus campos las plantaciones. Cuando se siembra por primera vez la caña tiene mayor producción, por lo que van a tener más productividad de toneladas de caña por hectárea.

Otro factor que ha favorecido este crecimiento son las variedades del Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador (CINCAE) que son muy productivas. También a las prácticas agrícolas que han mejorado mucho, la aplicación de abonos, fertilización, preparación de terreno. Los ingenios han

invertido mucho en equipos muy sofisticados para nivelar los terrenos, esta práctica trae un buen drenaje el cual contribuye a mejorar la producción. Asimismo, en las fábricas de los ingenios ha habido inversiones muy importantes para mejorar la extracción, esto es que si antes se obtenían entre 93 o 94 % de azúcar, actualmente con las renovaciones se logran de 2 % a 3 % más; por lo tanto, se obtienen más sacos de azúcar por la misma tonelada de caña cosechada.

Según los datos del INEC y el MAGAP la superficie cosechada de caña de azúcar pasó de 77.375 hectáreas en el 2000 a 86.455 hectáreas en el 2011, esto quiere decir un aumento del 11,7 %. Con los datos se calcula un crecimiento promedio anual de 1,35 %. Alrededor del 65 % de la producción de caña de azúcar se destina para producción de azúcar y el 35 % para producir panela, aguardiente, mieles, confites y caña fruta.

Gráfico 2. 16 Evolución de la superficie cosechada, producción y rendimiento de caña de azúcar en el Ecuador



Fuentes: FAO, http://faostat3.fao.org/home/index_es.html?locale=es#DOWNLOAD
 La Caña de Azúcar, Subsecretaría de Productividad, MIPRO
 Elaboración: Propia

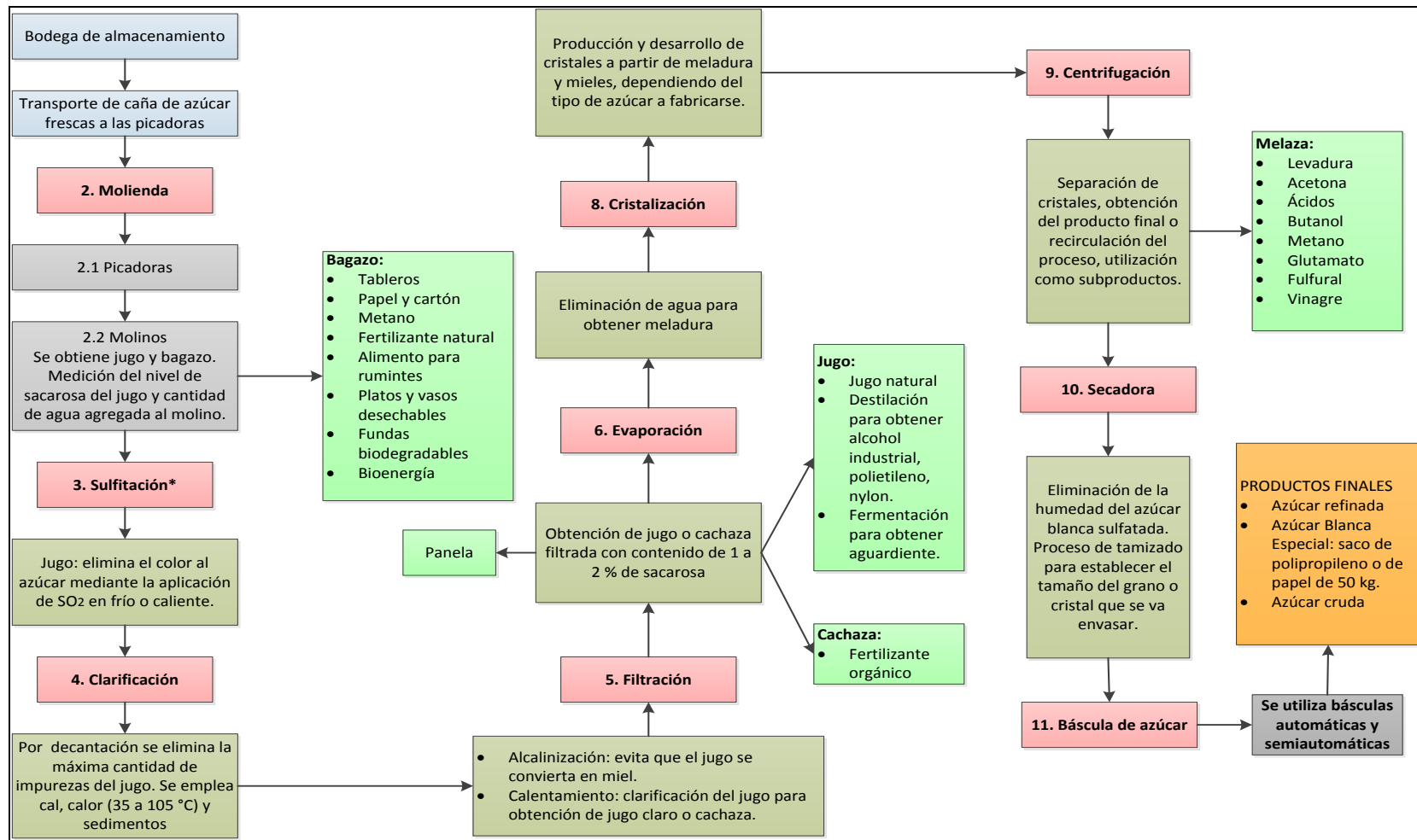
2.2. EL AZÚCAR

2.2.1. Procesamiento industrial del azúcar de caña

A continuación se detalla el proceso de producción de azúcar (La Caña de Azúcar, MIPRO):

- **Materia prima:** La caña se transporta desde el campo hasta la fábrica y se realiza la extracción de impurezas previa a la molienda.
- **Molienda:** La caña segmentadas por picadoras pasa por varios molinos, en el primer molino pierde del 70 al 80 % de su peso en jugo. Durante la molienda se añade agua caliente o jugo diluido para extraer la máxima cantidad de sacarosa que contiene el bagazo. Seguidamente el jugo se tamiza mientras tanto que, el bagazo se seca para utilizarlo como combustible en las calderas que producen vapor de alta presión que se utiliza en las turbinas de los molinos.
- **Sulfitación:** Con este proceso se elimina el color del azúcar mediante el contacto del jugo caliente o frío con SO_2 .
- **Clarificación:** Se eliminan la mayoría de las impurezas mediante la utilización de cal, calor, y sedimentación - decantación.
- **Filtración:** La cachaza se separa del jugo mediante filtros rotativos al vacío, es conducida a tolvas y contiene de 1 a 2 % de sacarosa.
- **Evaporación:** Se elimina el agua que contiene el jugo mediante evaporadores continuos para obtener una meladura de 58 a 62 % de sólidos.
- **Cristalización:** Mediante calor se produce una mezcla de miel y cristales. Para completar la cristalización, esta mezcla se conduce a un cristalizador en donde se deposita sacarosa sobre los cristales formados.
- **Centrifugación:** Con la ayuda de centrífugas se separan la azúcar cruda (mascabado), la miel (sacarosa líquida) y la melaza.
- **Secadora:** El azúcar blanco sulfitado pasa en paralelo o en contracorriente con aire caliente a través de a un secador. Este secador tiene una sección de enfriamiento del azúcar y a continuación un ciclón y un separador de polvillo con el objetivo de regular el tamaño de grano.
- **Báscula de azúcar:** El azúcar blanco especial se empaca en fundas de polietileno con una cubierta de polipropileno mientras que el azúcar sulfitado en sacos de papel.

Figura 2. 2 Procesamiento industrial de azúcar de caña

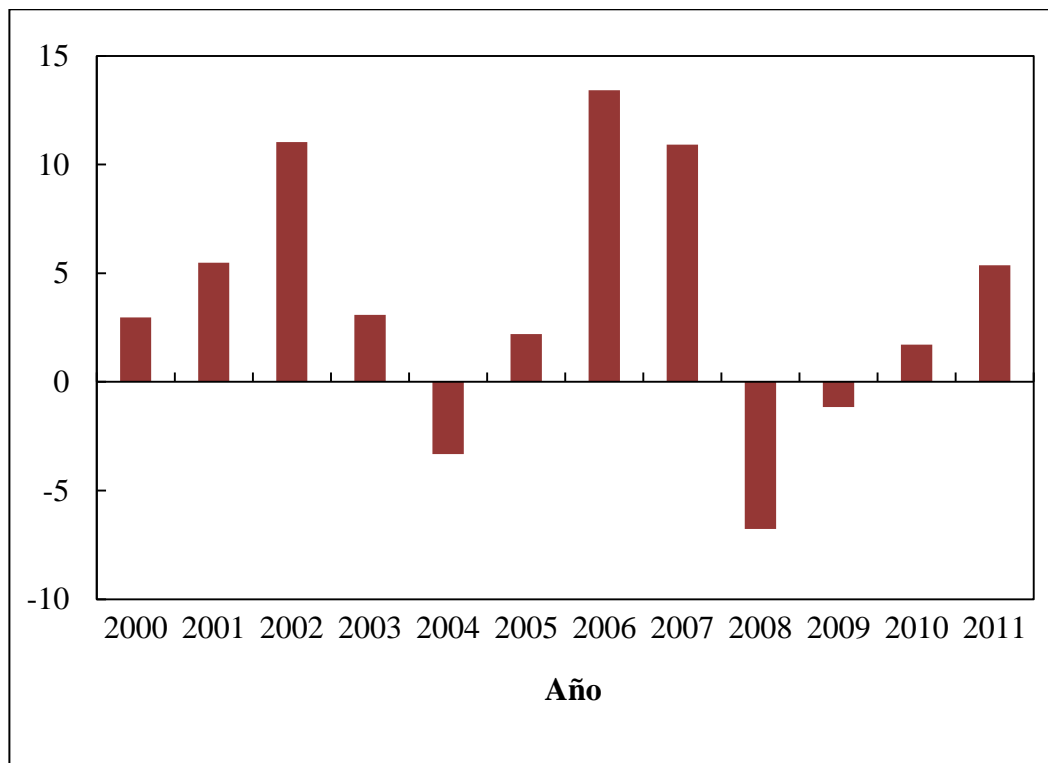


* Se elimina este paso del procedimiento para producir azúcar crudo

Fuente: Ingenio La Troncal. La Caña de Azúcar, Subsecretaría de Productividad, MIPRO

2.2.2. Producción mundial y regional de azúcar

Gráfico 2.9 Balance Mundial del Azúcar

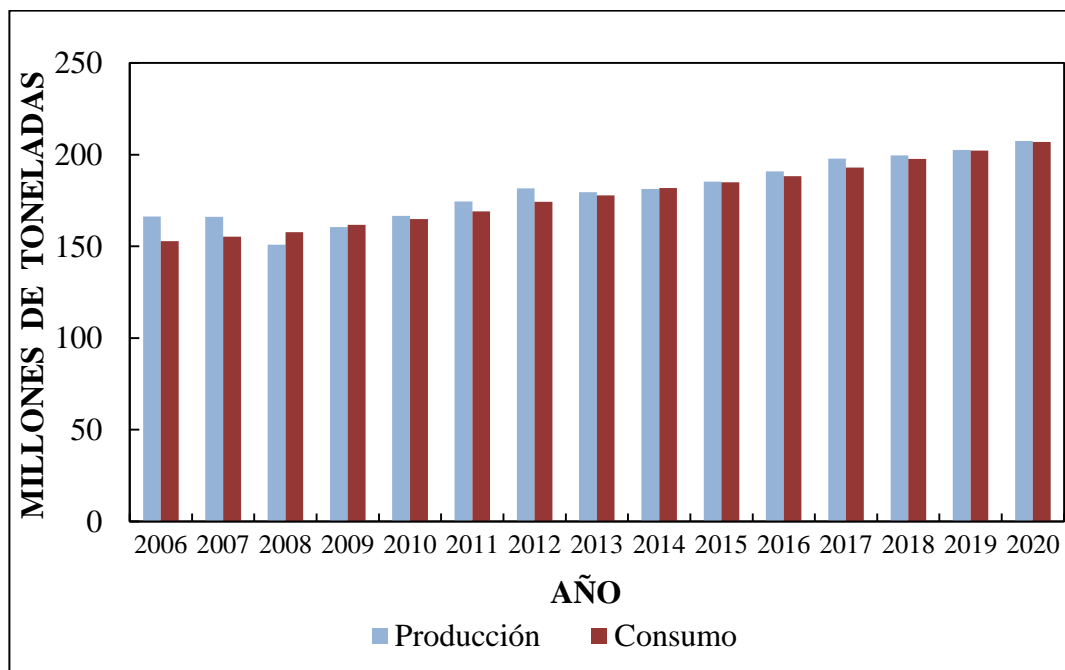


Fuente: Secretariados de la OCDE y de la FAO, Perspectivas Agrícolas 2010 – 2020.
<http://dx.doi.org/10.1787/888932426885>

Los inventarios mundiales de azúcar descendieron desde el 2006 lo cual produjo un alza en el precio alcanzando su valor más alto en 30 años en Febrero del 2011. Esta baja en la producción se debió al clima adverso en varios países. Se estima que el consumo mundial de azúcar crezca a una tasa promedio más baja en el largo plazo como respuesta a la subida de precios.

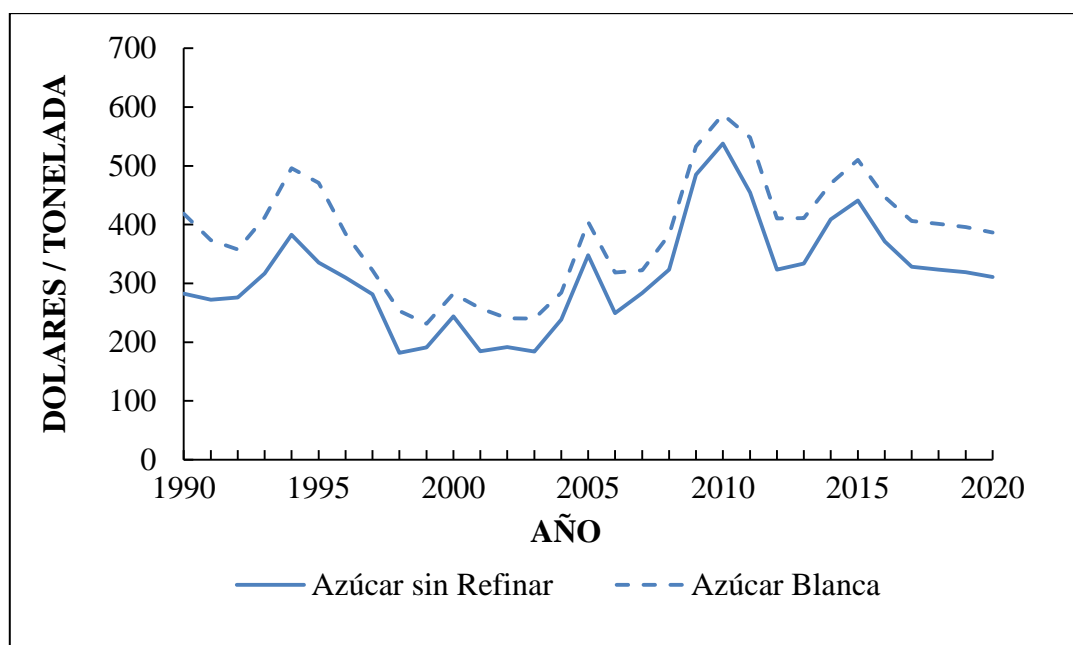
Se espera que la producción de azúcar en todo el mundo responda a las recientes alzas de precios y el equilibrio mundial se oriente a tener un superávit mayor. La producción de azúcar de Brasil será determinante para que la producción mundial de azúcar llegue a más de 209 millones de toneladas en el año 2020. Brasil es uno de los productores de azúcar de más bajo costo con una capacidad considerable para expandir la superficie de la caña de azúcar a gran escala.

Gráfico 2.10 Producción Mundial de Azúcar 2006 – 2011 y Proyecciones al 2020



Fuente: Secretariados de la OCDE y de la FAO, Perspectivas Agrícolas 2010 – 2020.
<http://dx.doi.org/10.1787/888932426923>

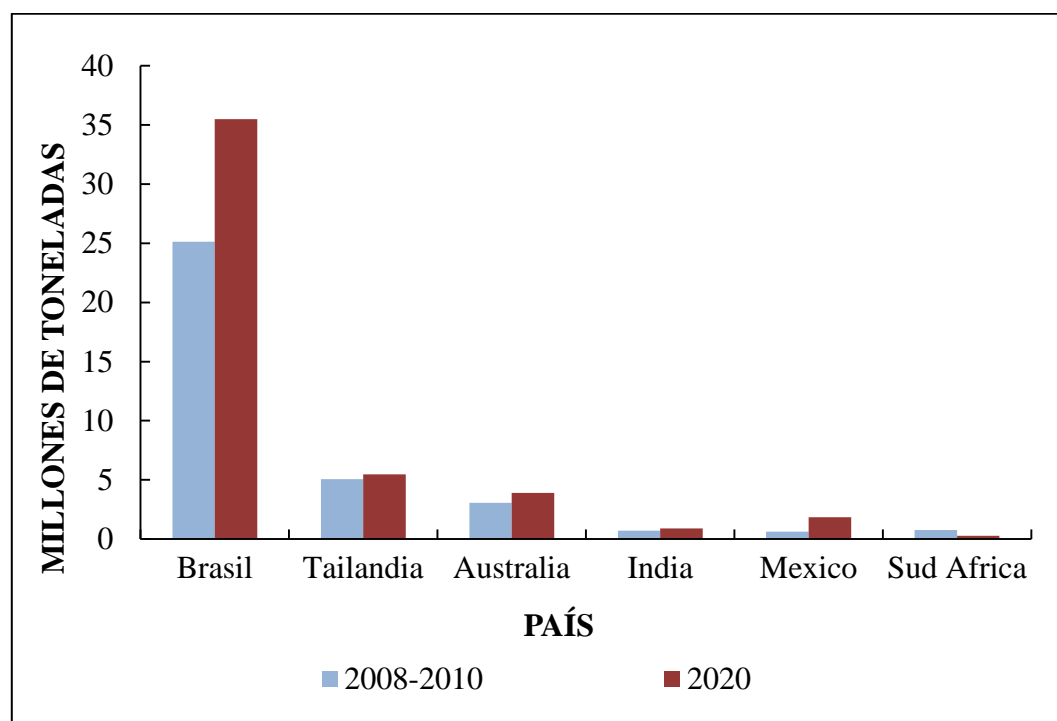
Gráfico 2.11 Evolución de los precios mundiales del azúcar en términos reales y Proyecciones al 2020



Fuente: Secretariados de la OCDE y de la FAO, Perspectivas Agrícolas 2010 – 2020
<http://dx.doi.org/10.1787/888932426904>

Se proyecta que los precios mundiales del azúcar sigan un patrón ondulante durante el periodo de proyección, similar al de la década pasada, como resultado de la continuación de las políticas gubernamentales que intervienen en los mercados del azúcar en muchos países, se proyecta que los precios mundiales caerán a un mínimo en 2012-2013, posteriormente se ingresa en una fase de descenso que lleva a un déficit en la producción y ocasiona la necesidad de realizar una gran cantidad de importaciones para cubrir las necesidades de consumo que impulsan el precio mundial en 2015-2016. Después comenzará de nuevo la mejora del ciclo, lo que generará una caída adicional de los precios mundiales en 2017-2018 y así sucesivamente. Brasil, como líder productor de azúcar y la nación dominante en el comercio mundial, actúa ya como “fijador de precios” en el mercado mundial con precios internacionales del azúcar por lo general correlacionados con sus costos de producción algo bajos.

Gráfico 2.12 Volúmenes de exportación de azúcar de los principales exportadores entre 2008-2010 y 2020



Fuente: Secretariados de la OCDE y de la FAO, Perspectivas Agrícolas 2010 – 2020
<http://dx.doi.org/10.1787/888932426961>

Se prevé que los cultivos de caña de azúcar en muchas regiones del mundo se expandirán como respuesta al aumento en la demanda para azúcar y para otros usos, esta también es la razón para los precios del azúcar relativamente altos.

La mayor parte de la producción adicional de azúcar provendrá de los países en desarrollo y la carga principal del crecimiento seguirá adjudicándose a Brasil. En contraste con las tendencias de expansión en el mundo en desarrollo, se espera que las industrias azucareras tradicionales en varios países desarrollados tendrán un nivel estático o menor de producción durante la década siguiente.

El consumo mundial de azúcar ha seguido en aumento a pesar de las continuas dificultades económicas experimentadas por muchos países desarrollados, sin embargo, se espera un crecimiento más lento del consumo en el largo plazo. Se espera que el consumo de azúcar en muchos países desarrollados, con sus mercados de azúcar maduros, mostrarán poco o ningún crecimiento; esto se debe a cambios en la dieta que ocurren como resultado de la conciencia de la salud y las preocupaciones con respecto a la obesidad y problemas de salud relacionados. Los países en desarrollo continuarán experimentando el crecimiento más fuerte en el consumo de azúcar, impulsado por el aumento de los ingresos y la población.

El azúcar se comercia de dos formas: cruda y blanca. Refinar el azúcar en el lugar de destino es más costoso que hacerlo en origen. Por tanto, las refinerías situadas en países que importan azúcar cruda para su refinado se suelen ver favorecidas por el diferencial entre el arancel del azúcar cruda y el que se aplica al refinado. Los principales importadores mundiales de azúcar cruda son Estados Unidos, la UE, Rusia y, en el Extremo Oriente, Corea del Sur, Japón, Malasia y China. Los mayores exportadores de azúcar cruda del hemisferio occidental se sitúan en América Central y del Sur. Es probable que el comercio internacional de azúcar blanco continúe su trayectoria ascendente por diversas razones: normalmente es más barato refinar el azúcar en origen; los fletes para el transporte de azúcar blanco descenderá a medida que las tecnologías de transporte avancen, y la liberalización del comercio debería provocar una reducción de los aranceles restrictivos sobre el azúcar blanco.

2.2.3. Producción de azúcar en el Ecuador

Ecuador cuenta con seis ingenios azucareros que cubren el 90% de la producción Nacional, esta son: San Carlos, Valdez, La Troncal, Isabel María, IANCEM y Monterrey, estas dos últimos trabajan en producción durante todo el año por estar ubicadas en la sierra, mientras que las otras solo desde Junio hasta Enero.

Casi en su totalidad la producción de azúcar del Ecuador es para consumo interno. Se estima que el año 2012 la producción de azúcar en el Ecuador subió en aproximadamente un 5% respecto al anterior año, se considera que ésta zafra ha sido la de más alta producción de la historia.

El precio del kilogramo de azúcar en el Ecuador es de alrededor de 1 dólar.

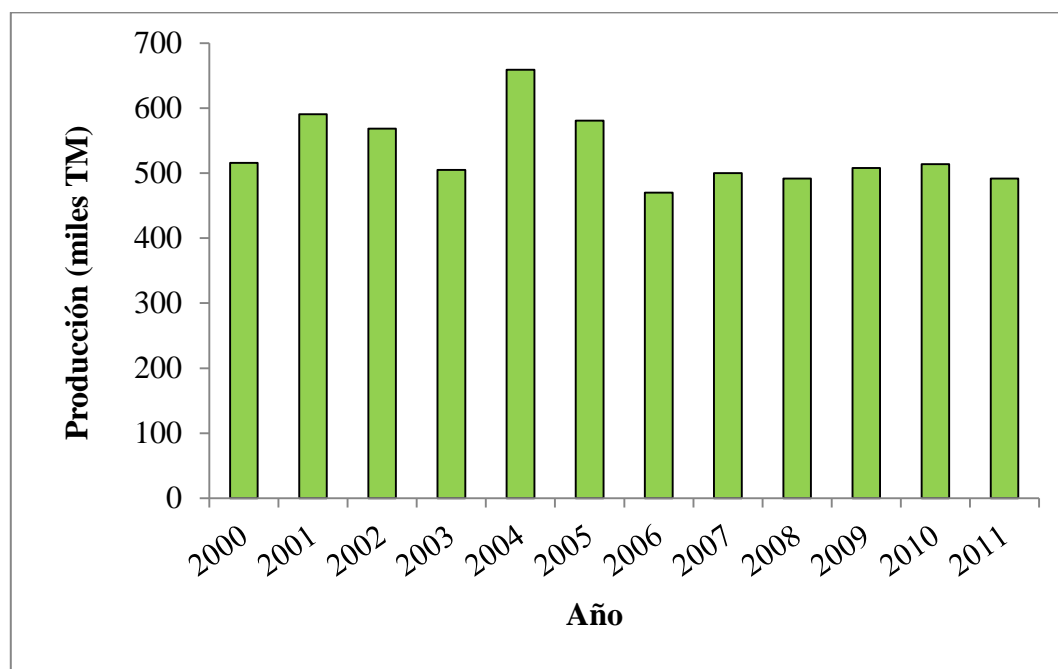
Tabla 2.2 Datos de los principales ingenios azucareros del Ecuador

Nombre del Ingenio	Empresa	Provincia	Hectáreas de Siembra	Participación en la producción de azúcar
San Carlos	Sociedad Agrícola e Industrial San Carlos S.A.	Guayas	22500	29%
Valdez	Compañía Azucarera Valdez C.A.	Guayas	20100	31%
La Troncal	ECUDOS S.A.	El Cañar	24800	30%
Isabel María	La Familiar C.A.	Los Ríos	1200	2%
IANCEM	Ingenio Azucarero del Norte (Empresa de Economía Mixta)	Imbabura	3300	4%
Monterrey	Monterrey Azucarera Lojana C.A.	Loja	2200	4%

Fuente: CINCAE (Centro de Investigación de la caña de azúcar en el Ecuador) y páginas web de cada ingenio.
<http://www.cincae.org/prueba.htm>

En el año 2012 se abrieron dos nuevos ingenios: Miguel Ángel con 4.000 hectáreas ubicado en el kilómetro 43 de la vía a El Triunfo y San Juan con 2.000 hectáreas en General Villamil Playas, ambos en la provincia del Guayas.

Gráfico 2.13 Producción anual de azúcar en el Ecuador, 2000-2011



Fuentes: FAO, http://faostat3.fao.org/home/index_es.html?locale=es#DOWNLOAD

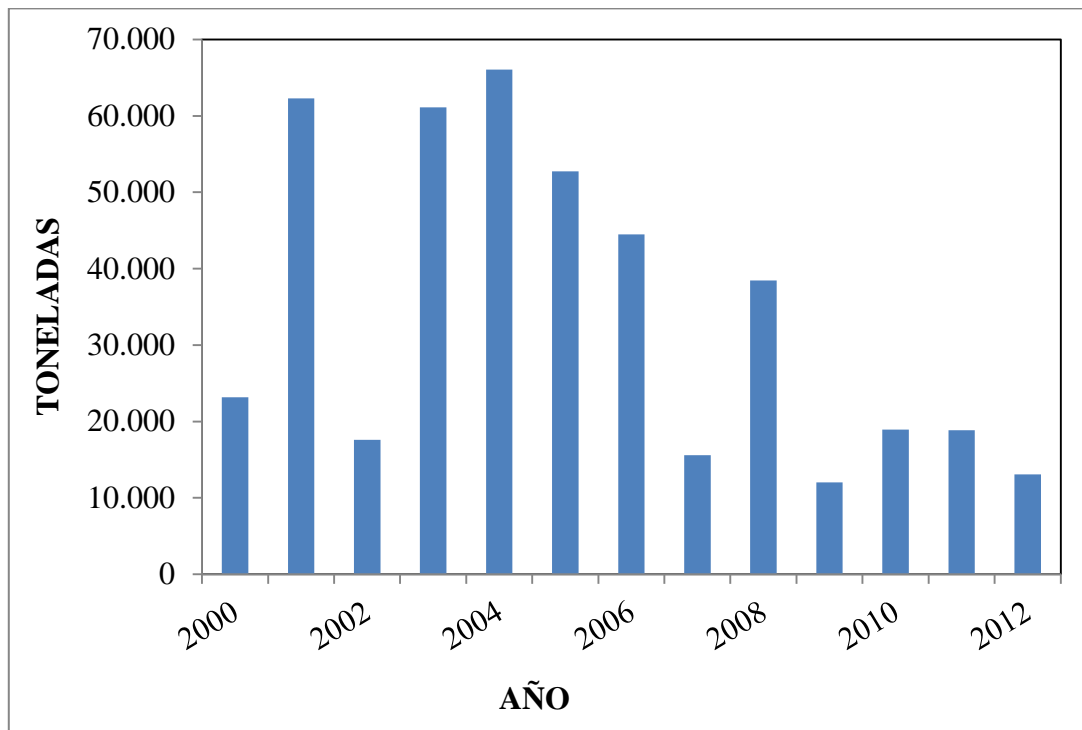
2.2.3.1. Importaciones y exportaciones de azúcar en el Ecuador

La partida arancelaria del azúcar de caña de azúcar o remolacha y de la sacarosa químicamente pura, en estado sólido, es la 1701. En esta partida se incluye azúcar cruda o refinada, con o sin adición de colorantes y todas las demás presentaciones.

Las exportaciones de azúcar del Ecuador se destinan principalmente a Estados Unidos cuyo Departamento de Agricultura asigna cuotas de importación a los países interesados en exportar su azúcar. La cuota de importación que le corresponde al Ecuador es distribuida entre los seis ingenios azucareros del país en base al porcentaje de participación en la producción del año inmediatamente anterior. Las exportaciones de azúcar corresponden alrededor del 7% de la producción nacional, no es un impacto muy significativo para los ingenios del país.

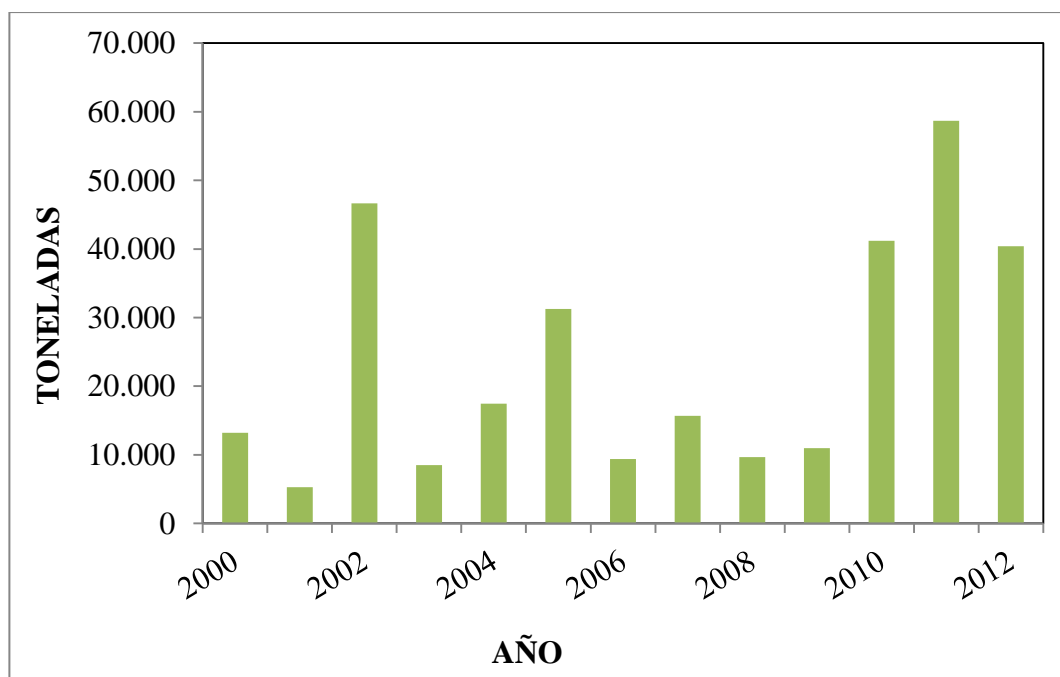
Para la importación de azúcar se debe pagar un arancel del 30%. Colombia es el principal exportador de azúcar al Ecuador.

Gráfico 2.14 Exportaciones de azúcar en el Ecuador, 2000-2012



Fuente: Banco Central del Ecuador, <http://www.bce.fin.ec/frame.php?CNT=ARB0000767>

Gráfico 2.15 Importaciones de azúcar en el Ecuador, 2000-2012



Fuente: Banco Central del Ecuador, <http://www.bce.fin.ec/frame.php?CNT=ARB0000767>

2.3. ETANOL ANHIDRO

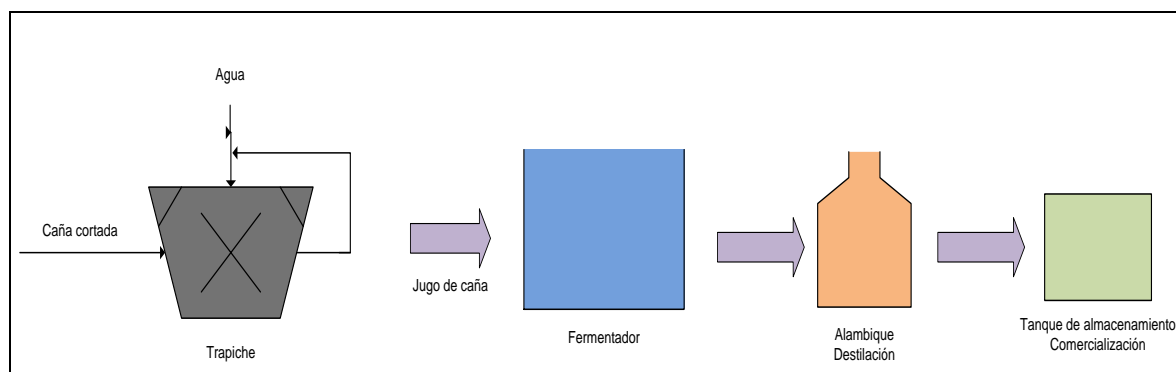
2.3.1. Proceso de elaboración de alcohol etílico anhidro

El alcohol se fabrica ya sea por síntesis química o por fermentación y destilación de líquidos alcohólicos. El interés a nivel mundial por la producción de etanol a partir de la fermentación ha ganado importancia debido a la actual demanda de energía.

La producción de alcohol se puede llevar a cabo mediante el método clásico discontinuo y el método continuo. La producción discontinua de etanol a pesar de ser la más lenta, es la más utilizada principalmente a escala artesanal.

En la figura 2.3 se pueden distinguir tres operaciones principales de la producción artesanal: la preparación de la materia prima, fermentación y la destilación del alcohol producido. En la producción a escala industrial se dan básicamente los mismos procesos pero mucho más especializados y con control sobre los parámetros de cada operación unitaria para obtener mejores resultados, aprovechar los subproductos y no contaminar el ambiente.

Figura 2.3 Diagrama de flujo para la producción artesanal de etanol a partir de la caña de azúcar



Fuente: MIPRO, 2011

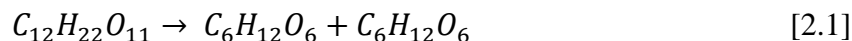
2.3.1.1. Preparación de la materia prima

Para producir alcohol etílico por fermentación se utilizan materias primas como azúcares, almidón o celulosa. Las fuentes de azúcar pueden ser la caña de azúcar, melazas o zumo de frutas, los azúcares presentes en estas materias son directamente fermentados por la levadura, las especies más comunes de levadura utilizadas en la fermentación de la sacarosa son *Clostridium*, *Saccharomyces* y *Zymomonas*. El almidón se extrae de materiales amiláceos como el maíz, papas, mientras tanto que, la celulosa se extrae de la madera o de residuos agrícolas. La fermentación del almidón y celulosa requiere de un tratamiento previo conocido como hidrólisis ácida.

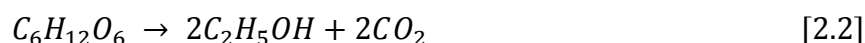
En la industria ecuatoriana la principal materia prima es la melaza. El primer paso es diluir la melaza con agua. A la melaza diluida se la denomina mosto. Crema es el nombre que se da a la levadura diluida. Se coloca 85% de mosto y 15% de crema en los tanques de fermentación por un periodo de 16 a 18 horas. Los nutrientes que se adicionan a la fermentación de la melaza son urea y ácido fosfórico.

2.3.1.2. Proceso de fermentación

Se ha utilizado la fermentación alcohólica desde la antigüedad principalmente para la conservación de jugos de frutas, posteriormente se adecuó esta técnica para la fabricación de bebidas alcohólicas. Se la realiza en tanques de acero inoxidable en donde primeramente la enzima invertasa presente en la levadura hidroliza la sacarosa en glucosa y fructosa de la siguiente manera:



Seguidamente la enzima zimasa convierte la fructosa y glucosa en etanol y CO₂.



Al inicio de la fermentación las células se multiplican rápidamente en condiciones aerobias, la fase principal se caracteriza por la alta producción de alcohol y CO₂ mientras tanto que decrece la multiplicación de levaduras, es muy común la aparición de espuma voluminosa y la temperatura puede aumentar hasta los 40 °C. En la fase final cuando el contenido de azúcar disminuye se produce un descenso de la producción de etanol y un pequeño crecimiento de levadura.

La temperatura máxima que se permite que alcance es de 35 °C. Se muestrea cada hora hasta que el grado Brix se mantenga constante. El grado Brix sube a un máximo de alrededor de 16 y luego baja hasta 7 u 8 grados Brix donde se mantiene constante, este es indicativo que la fermentación está completa. En la fase final de la fermentación se alcanza un grado alcohólico entre 5% y 8%.

El fermento pasa por una centrifuga y se obtiene la fase líquida que es el vino alcohólico que va para la destilería y la fase sólida que es la levadura. Una parte de la levadura regresa al proceso de fermentación y otra pasa a secado para elaboración de balanceado, este residuo contiene proteínas, vitaminas, azúcares residuales.

A la levadura proveniente de la centrifugación que se reutiliza en la fermentación se la lava con ácido sulfúrico (pH=2) para eliminar bacterias. Un exceso de bacterias ocasiona que la cantidad de alcohol etílico que se obtenga sea bajo y suba la concentración de glicerol, alcoholes superiores, alcoholes inferiores, aldehídos y cetonas.

El CO₂ proveniente de la fermentación se lo pasa a través de una trampa de espuma y se lo impulsa con una bomba a la planta recuperadora de CO₂.

2.3.1.3. Rendimientos de las materias primas

Desde el punto de vista comercial, en la producción de etanol se debe considerar la disponibilidad y el costo de las materias primas ya que estas constituyen

entre el 55 y 75 % del precio de venta del alcohol etílico producido. En la tabla 2.3 se presentan los rendimientos de alcohol a partir de diferentes materias primas, como se puede observar los mayores rendimientos se obtienen en la fermentación de cultivos azucarados.

Tabla 2.3 Rendimientos de alcohol a partir de diferentes materias primas

Cultivo	Biomasa (toneladas/hectárea)	Etanol (litros/hectárea)	Etanol (litros/tonelada biomasa)
Melazas	-	-	270
Caña de azúcar	9	3.600	70
Remolacha azucarera	6	3.000	-
Sorgo	5	1.500	-
Papas	5	1.800	-
Maíz	3	1.200	370
Yuca	7	1.800	180

Fuente: Lee, 2000, p. 225

2.3.1.4. Destilación del alcohol

Los líquidos que se encuentran en mayor cantidad en el vino alcohólico son agua y etanol, pero durante la fermentación también se producen compuestos secundarios como aldehídos, ésteres, ácidos grasos, glicerina compuestos nitrogenados, alcoholes, entre otros.

En la primera columna de destilación, el líquido que sale del fondo de la columna se conoce como vinaza, mientras tanto que, los vapores que salen por la parte superior contienen etanol, aldehídos y agua con un 50 % de etanol pasan a un condensador. El condensado que se conoce como vino rico o alcohol etílico crudo, se transporta a una columna de rectificación en la que el etanol se concentra del 95% al 96%.

Para el proceso de rectificación la mezcla de etanol y agua forman un azeótropo a 78,2 °C a 1 atm con una concentración de 89 a 95 %. Para el uso de alcohol etílico como aditivo de la gasolina para la elaboración de biocombustibles se necesita que sea anhidro por lo que se emplean procesos como la deshidratación por absorción, en la se utiliza el CaO como agente higroscópico, la deshidratación por un proceso de adsorción sobre un tamiz molecular y también la destilación azeotrópica que concentra el contenido de alcohol sobre el 99,5%.

La destilación azeotrópica consiste en agregar a la mezcla alcohol – agua un tercer compuesto (ej. ciclohexano) de tal manera que se desplace el punto de ebullición de la mezcla para obtener por un lado alcohol anhidro y por otro una mezcla ternaria (alcohol – agua – ciclohexano). La mezcla ternaria se somete a decantación formándose dos fases líquidas inmiscibles, la fase liviana rica en ciclohexano se retorna a la destilación azeotrópica y la fase pesada rica en agua se envía a destilación para recuperación.

2.3.1.5 Tratamiento de efluentes

Para el tratamiento de las vinazas y otros efluentes de las demás unidades del proceso se emplean procesos biológicos anaerobios con el fin de lograr parámetros apropiados en las aguas para utilizarlas en el riego de las plantaciones de caña de azúcar y la disposición de los lodos como abono.

Previo al ingreso de la vinaza al reactor anaerobio se ecualiza la misma para mantener un control sobre las variaciones de caudal, de la misma manera también se controlan el pH y los micronutrientes. En el reactor anaerobio se produce un biogás rico en metano el cual, luego de pasar por un proceso de deshumidificación y compresión, se lo utiliza como combustible.

A la vinaza tratada se aumenta su contenido de oxígeno por medio de aireación y se descarga a un sistema de lagunas de tratamiento donde se agregan cultivos de bacterias comerciales para controlar los olores.

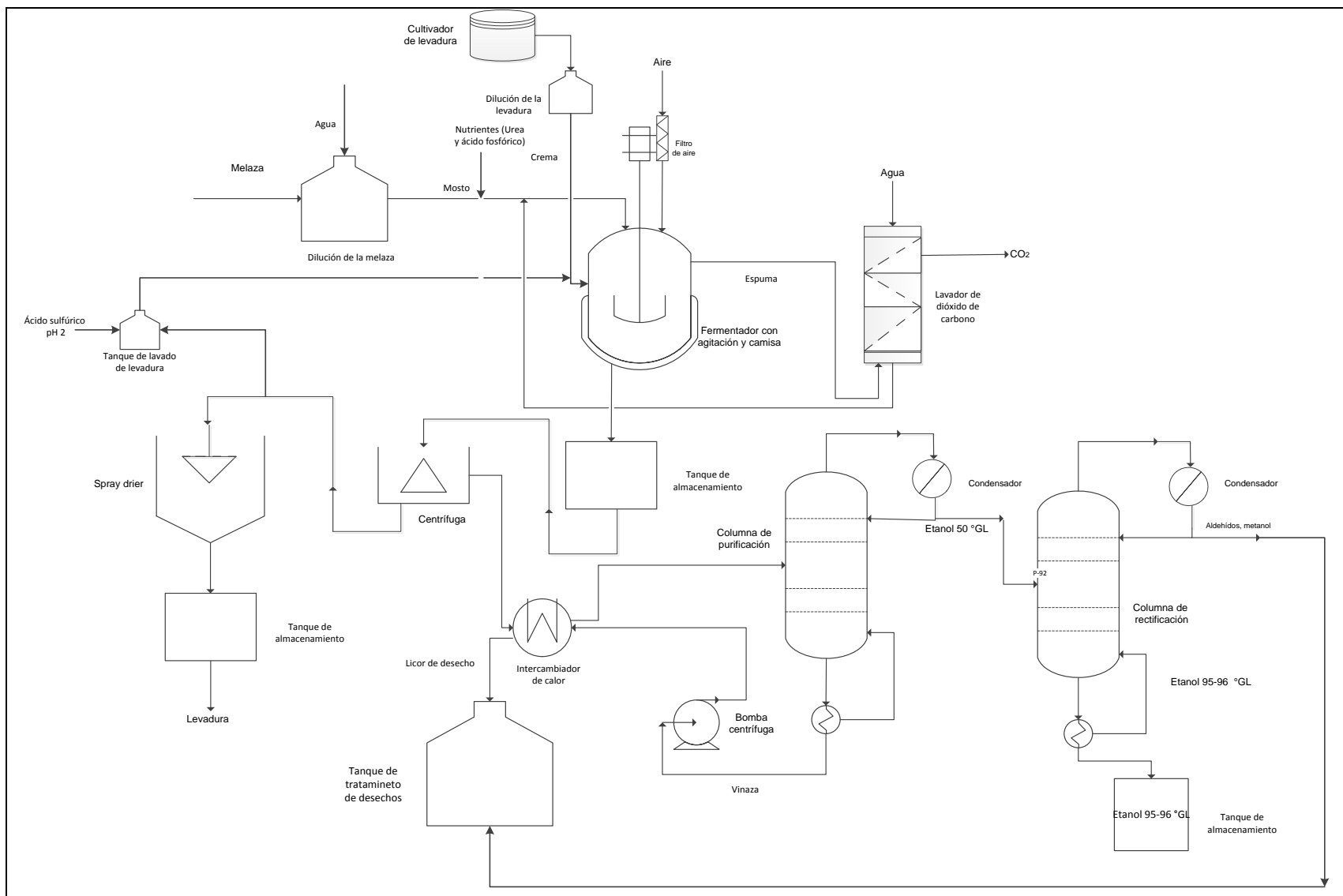


Figura 2.4 Diagrama de flujo para la producción industrial de etanol a partir de melaza

2.3.2. Producción mundial y regional de Etanol

El presente análisis de las perspectivas del etanol a nivel mundial está basado en el estudio Perspectivas Agrícolas 2011 – 2020 de la FAO y la OCDE.

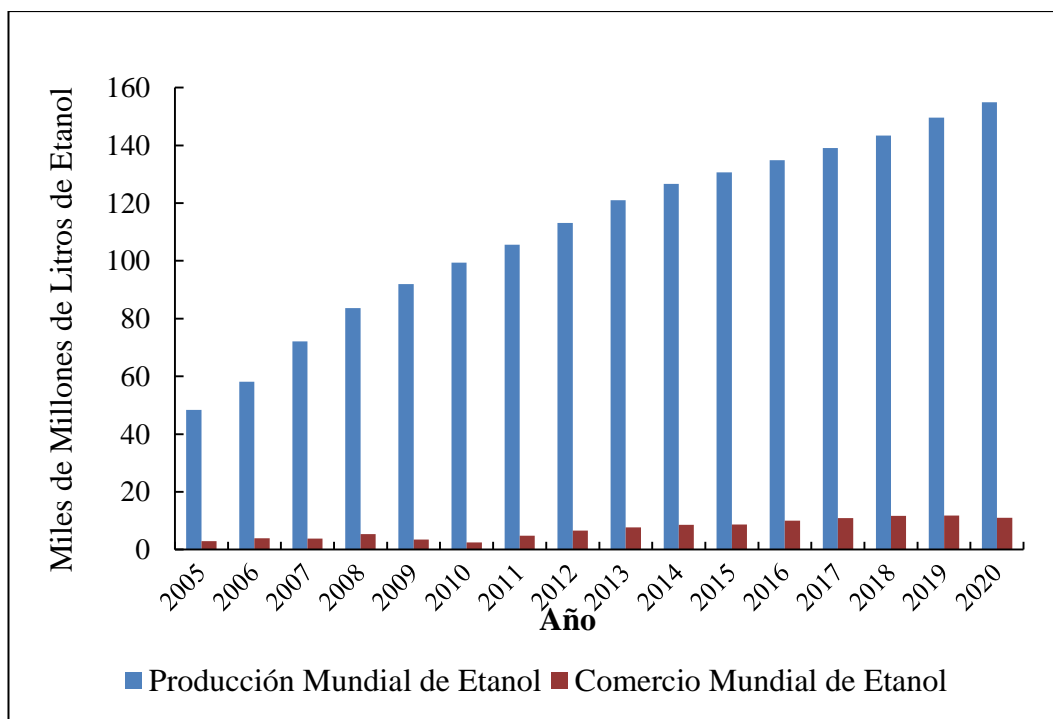
Desde el 2005 hasta el 2020 la producción mundial de etanol debería triplicarse según las proyecciones realizadas por el estudio mencionado. Se espera que hasta el 2020, año hasta el cual se realizan las proyecciones, la expansión de la producción y uso de etanol sean impulsados por el apoyo de políticas de uso obligatorias por gobiernos nacionales, la desgravación fiscal para productores y consumidores de biocombustibles, medidas de protección y especificaciones de calidad en los combustibles y también por mayor capacidad de inversión en los países productores.

Estados Unidos es el mayor productor de etanol en el mundo seguido por Brasil. En Estados Unidos se obtiene alcohol a partir del maíz mientras que en Brasil se lo obtiene a partir de la caña de azúcar. Se espera que las inversiones y la capacidad de producción del etanol producido a partir de la caña de azúcar se expandan con rapidez, con un crecimiento aproximado del 6% por año hasta el 2020.

En los países en desarrollo en el año 2010 la producción de biocombustibles no cumplió las expectativas de los objetivos planteados por los gobiernos a excepción de Brasil y Argentina. Esto se debe al hecho de que los productos de los cuales planificaban obtener los biocombustibles como el piñón de tempate o la mandioca se encuentran todavía en un nivel de pequeña escala.

Brasil, India y China deberán representar 85% de la producción de etanol en el mundo esperada para 2020 sin contar con el aporte de Estados Unidos. En China, la mayor parte del etanol producido se utiliza para usos no destinados a combustibles sino en las industrias alimentaria y química. Las regiones de Asia y América del Sur deberán convertirse en productoras importantes de etanol.

Gráfico 2.16 Desarrollo y Perspectivas del Mercado Mundial de Etanol



Fuente: Secretariados de la OCDE y de la FAO, Perspectivas Agrícolas 2010 – 2020.

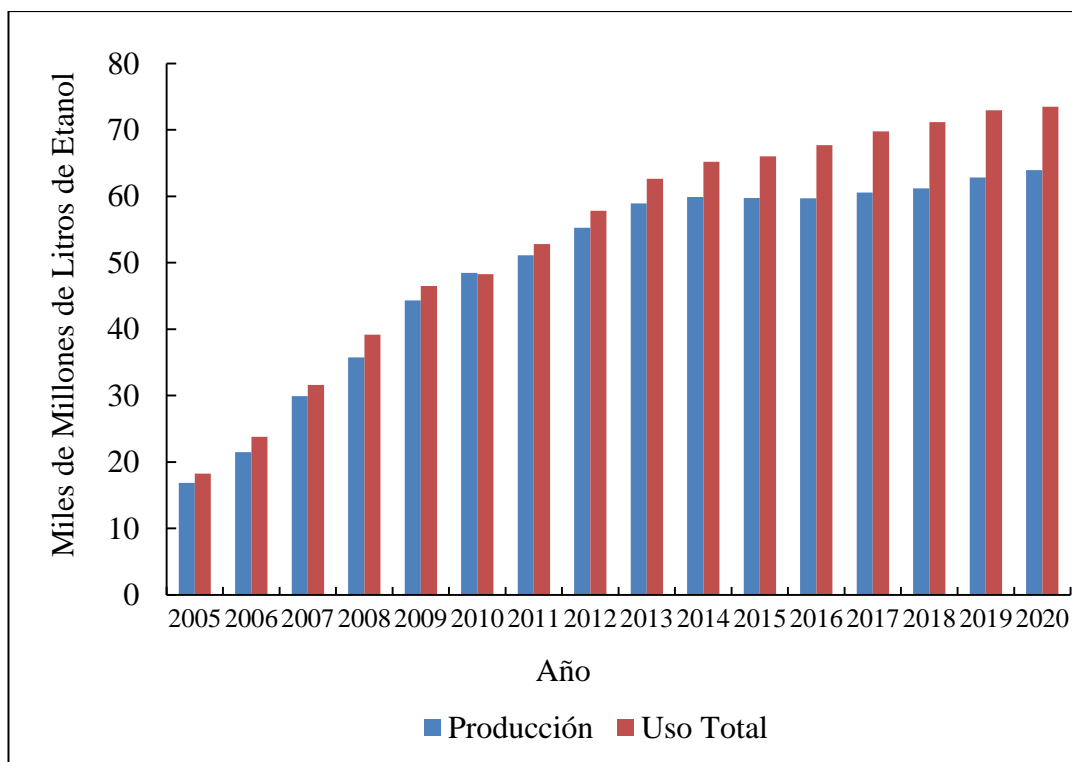
<http://dx.doi.org/10.1787/888932426467>

2.3.2.1. Estados Unidos

Se proyecta que Estados Unidos continúe como el productor y consumidor más grande de etanol si el crédito fiscal para los mezcladores de etanol y biodiesel de este país continúa, adicionalmente debe seguir teniendo efecto el arancel al etanol importado. Si el uso de etanol para combustible aumenta en Estados Unidos de manera continua durante el periodo de proyección se puede alcanzar un consumo de 71.000 millones de litros para el 2020 como se observa en el gráfico 2.17.

Existe incertidumbre con respecto a la renovación del crédito fiscal estadounidense por la mezcla y el arancel del etanol. Si estos fueran eliminados cambiarían las perspectivas del mercado mundial del etanol, las exportaciones brasileñas de etanol se dirigirían a Estados Unidos y el etanol basado en la caña de azúcar sería más competitivo que el basado en maíz.

Gráfico 2.17 Desarrollo Proyectado del Mercado Estadounidense de Etanol



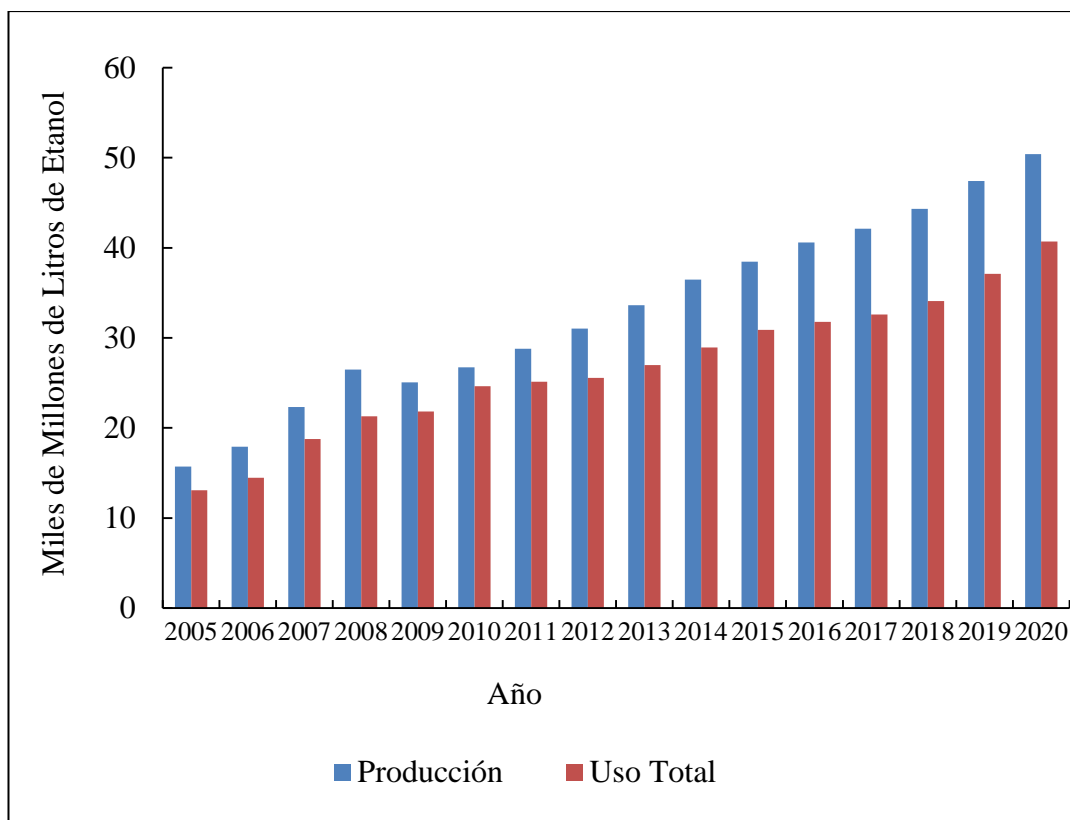
Fuente: Secretariados de la OCDE y de la FAO, Perspectivas Agrícolas 2010 – 2020.

<http://dx.doi.org/10.1787/888932426505>

2.3.2.2. Brasil

Se proyecta que Brasil será el segundo productor más grande de etanol, con una proporción de 33% de la producción mundial en 2020. El mercado brasileño del etanol deberá recuperar competitividad con respecto a la producción de azúcar debido a una combinación de factores: se proyecta que los precios del azúcar sin refinar sean más bajos, que la zona donde se cultiva la caña de azúcar se expanda, que los rendimientos de la caña de azúcar se recuperen de la mala cosecha de 2010, y que las inversiones en los mercados de etanol continúen de modo que deberán expandirse más las capacidades de producción. Se espera que cerca de la mitad de la producción de caña de azúcar se canalice a la producción de etanol. Se anticipa que el uso interno del etanol en Brasil aumente durante el periodo de proyección para alcanzar 41.000 millones de litros de etanol en 2020. Este crecimiento es impulsado sobre todo por la creciente flota de vehículos operados con flexicombustibles.

Gráfico 2.18 Desarrollo Proyectado del Mercado Brasileño de Etanol



Fuente: Secretariados de la OCDE y de la FAO, Perspectivas Agrícolas 2010 – 2020.

<http://dx.doi.org/10.1787/888932426543>

2.3.2.3 Precios del Etanol

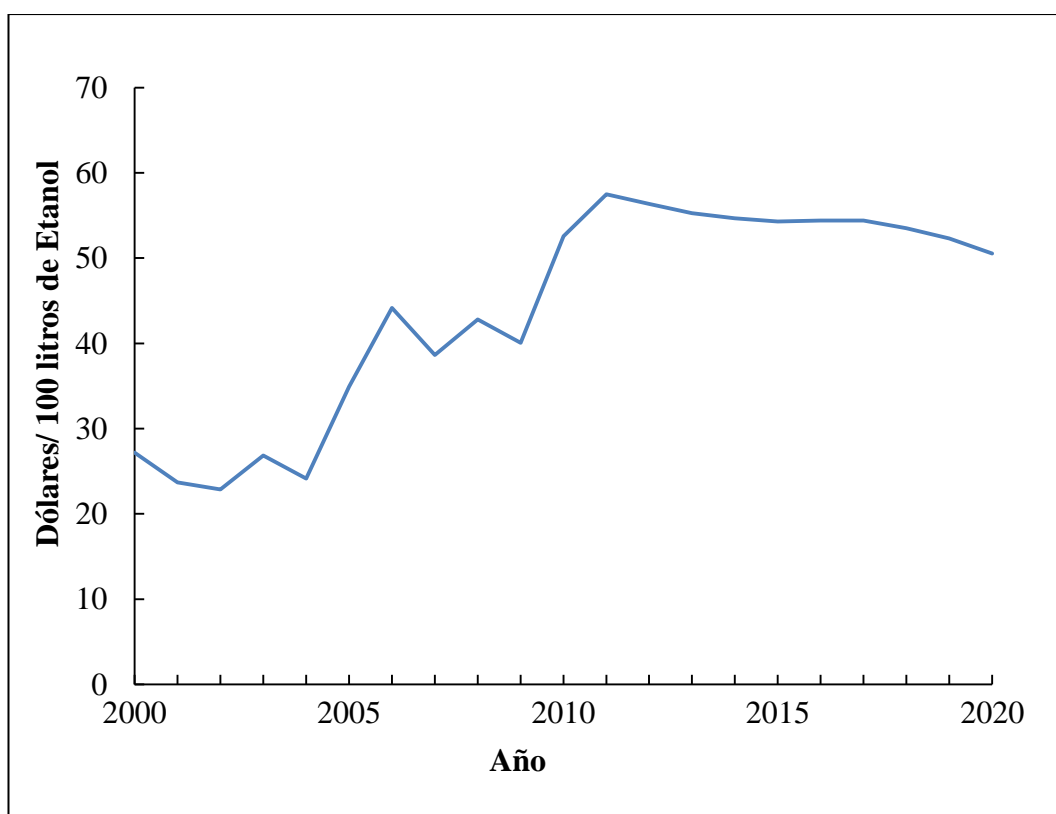
El precio del alcohol a nivel internacional se ha duplicado desde el año 2000 (27,18 dólares/100 litros) hasta el año 2013(55,29 dólares/100 litros). La perspectiva es que el precio se mantenga estable hasta el 2020 tal como se observa en el gráfico 2.19.

En el 2010 se da un alza considerable del precio del etanol en más de un 30% debido al alza del costo de las materias primas como el azúcar y el maíz y a que los precios de la energía se mantuvieron fijos. Lo contrario se dio en 2007-2008 cuando los precios del etanol no se incrementaron al ritmo de los incrementos en el precio de las materias primas y los márgenes de rentabilidad del etanol se redujeron.

Se proyecta que hasta el 2020 los precios del etanol permanecerán fijos ya que se están poniendo en marcha políticas que promueven el uso de biocombustibles y se espera que los precios del petróleo continúen altos.

Se ha observado en años más recientes cómo los mercados de biocombustibles resultan afectados por los cambios en las políticas de combustibles, los sucesos macroeconómicos y los cambios en los precios del petróleo. Estos factores ejercen un efecto en la rentabilidad de la industria, modificando las decisiones de los inversionistas y el gasto en inversión y desarrollo.

Gráfico 2.19 Evolución de los precios del etanol en términos reales al 2020



Fuente: Secretariados de la OCDE y de la FAO, Perspectivas Agrícolas 2010 – 2020.

<http://dx.doi.org/10.1787/888932426448>

2.3.2.3. Producción Mundial de Etanol por Materia Prima Utilizada

En el gráfico 2.20 se presenta el crecimiento de la producción de etanol proyectado para varias materias primas empleadas. El maíz y la caña de azúcar continuarán siendo las principales materias primas para el etanol durante la próxima década. Para 2020, se anticipa que 44% del etanol mundial se producirá a partir de cereales secundarios y 36% de la caña de azúcar. La producción de etanol celuloso deberá representar sólo 5% de la producción mundial.

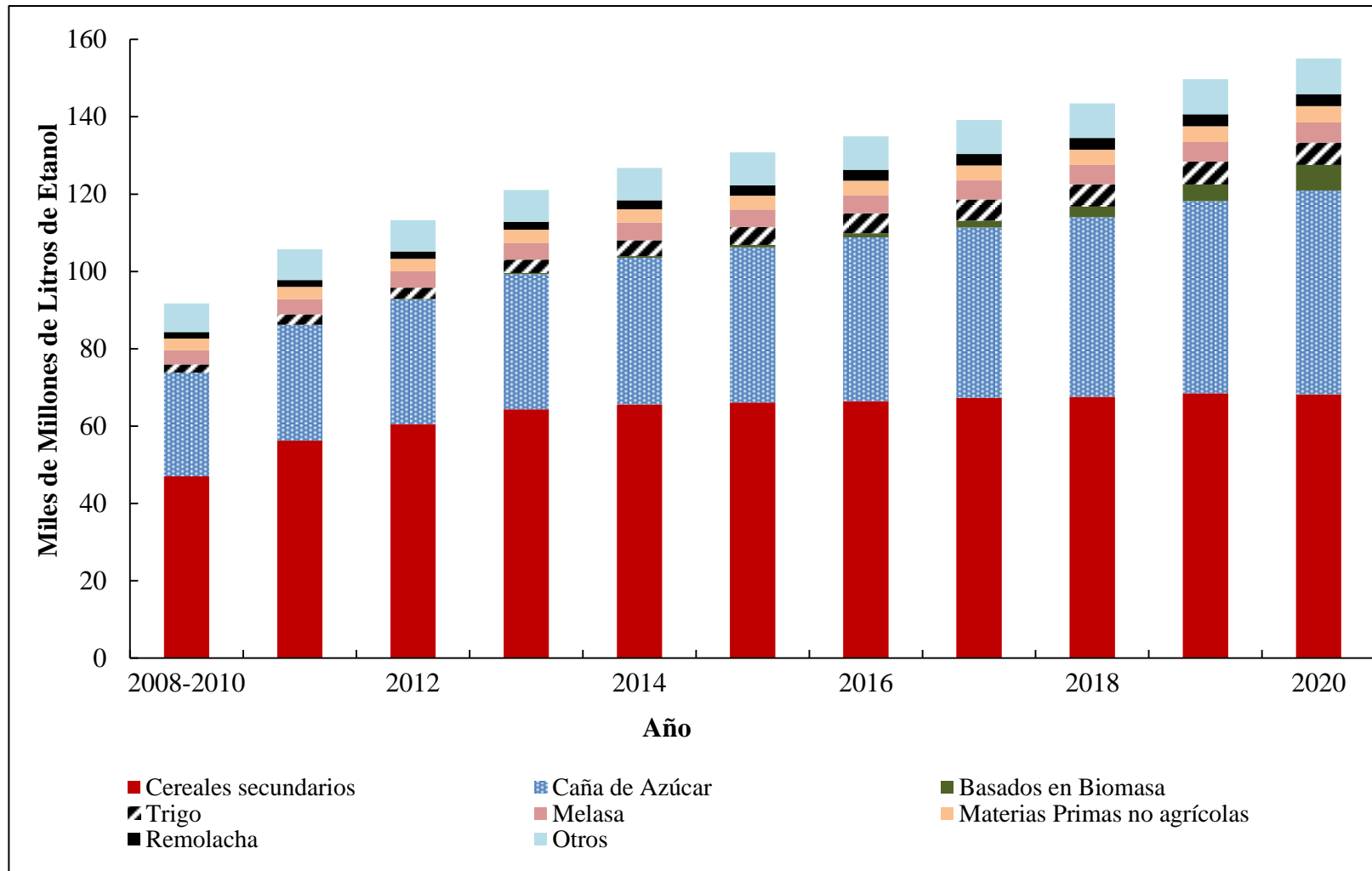
En los países desarrollados la proporción del etanol basado en maíz en el etanol total producido deberá bajar del 89% en promedio durante el periodo 2008-2010 hasta el 78% en 2020.

En los países en desarrollo se espera que más de 80% del etanol producido en el 2020 este basado en la caña de azúcar, lo cual genera el dominio de la producción de dicho energético por parte de Brasil. Se proyecta que el etanol basado en raíces y tubérculos como la mandioca represente sólo cerca de 4%.

El panorama es diferente si se excluye el mercado brasileño de etanol. En ese caso, en el mundo en desarrollo la proporción de la melaza en la producción de etanol llega a 40%, las proporciones del etanol basado en caña de azúcar, así como el basado en cereales secundarios, deberían ser de 17%.

Los biocombustibles producidos a partir de materias primas agrícolas son un primer paso hacia el desarrollo de fuentes de energía renovable para combustibles líquidos para transporte. La transición futura a biocombustibles de segunda generación producidos con biomasa lignocelulósica, material de desecho u otras materias primas no alimentarias depende de los adelantos de la investigación y desarrollo durante los próximos años y de las inversiones que se hacen en la actualidad. También depende de las políticas de biocombustibles en los gobiernos para la producción de biocombustibles de segunda generación.

Gráfico 2.20 Evolución de la producción mundial de etanol por materia prima utilizada



Fuente: Secretariados de la OCDE y de la FAO, Perspectivas Agrícolas 2010 – 2020.

<http://dx.doi.org/10.1787/888932426562>

2.3.3. Producción de etanol en el Ecuador

2.3.3.1 Producción industrial de etanol

Existen 3 grandes destiladoras de alcohol en el Ecuador, cada una está asociada a un ingenio azucarero. En la tabla 2.4 se encuentran los datos de estas destiladoras.

Tabla 2.4 Datos de las destiladoras de alcohol etílico más grandes del Ecuador

Ingenio	Destiladora de Alcohol	Provincia	Producción de alcohol litros/día
San Carlos	SODERAL S.A	Guayas	32.000
Valdez	CODANA S.A.	Guayas	50.000
La Troncal	PRODUCARGO S.A.	El Cañar	75.000

Fuente: Páginas web de las empresas destiladoras de alcohol

En total estas plantas producen alrededor de 157.000 litros de alcohol por día.

2.3.3.1. Producción artesanal de etanol

Un estudio realizado por el CONSEP en 14 provincias en las tres regiones del país determinó que existen 374 trapiches artesanales, con 1.647 personas en relación directa de trabajo en el proceso de producción y finalmente se determinó que se producen 426.730 litros mensuales de alcohol artesanal, lo que en producción diaria es alrededor de 14.000 litros por día. Estos trapiches artesanales adicionalmente producen caña, panela y miel.

Según el CONSEP la mayor cantidad de instalaciones se encuentran en la provincia de El Oro con 80 trapiches, seguida de Imbabura y Bolívar con 39, Cañar y Cotopaxi con 35, mientras que la menor cantidad se encuentran en Guayas y Pichincha. Sin embargo la provincia que tiene mayor cantidad de producción artesanal de etanol y mayor número de personas involucradas en el

proceso es Manabí, seguida de la provincia de Imbabura en la sierra norte ecuatoriana.

El Gobierno ecuatoriano está impulsando programas y acuerdos para que los campesinos agrupados en asociaciones vendan el alcohol que previamente lo distribuían a la población como ‘aguardiente’ a las empresas destiladoras Soderal, Producargo y Codana con el fin de que sea utilizado como materia prima para la elaboración de alcohol carburante.

En el país se ha tenido graves problemas por muertes de ciudadanos por consumo de alcohol adulterado. Al cambiar el destino de este alcohol se reduce el peligro por envenenamiento por alcohol de la población y se da una alternativa de desarrollo para los pequeños y medianos cañicultores.

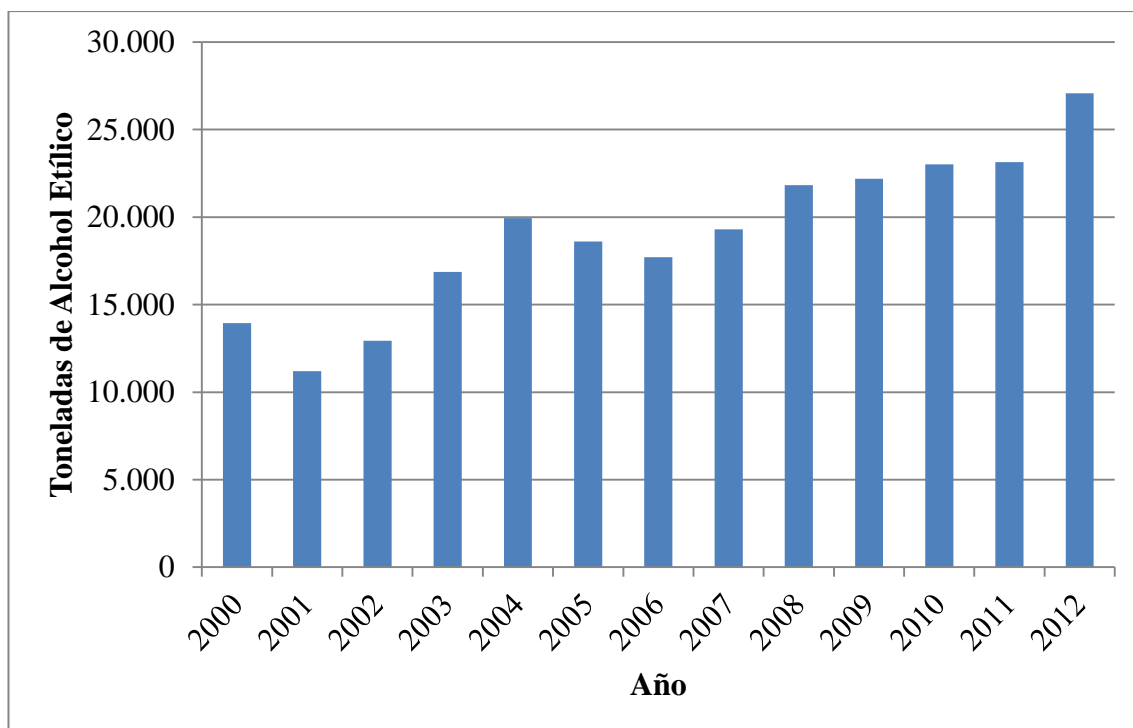
El Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad estableció el compromiso en el 2012 de incentivar la producción y apoyar al sector con préstamos, capacitación y maquinaria. Con el acuerdo suscrito se benefician cerca de 800 cañicultores y se involucran 14 mil hectáreas que están destinadas para la producción de caña de azúcar, de la cual se obtiene licor artesanal.

El Programa Nacional de Agroenergía, impulsado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), incluye la plantación de 6.000 hectáreas de caña de azúcar con fines energéticos y el proyecto para la instalación de plantas de procesamiento de alcohol.

2.3.3.2. Exportaciones e importaciones de etanol en el Ecuador

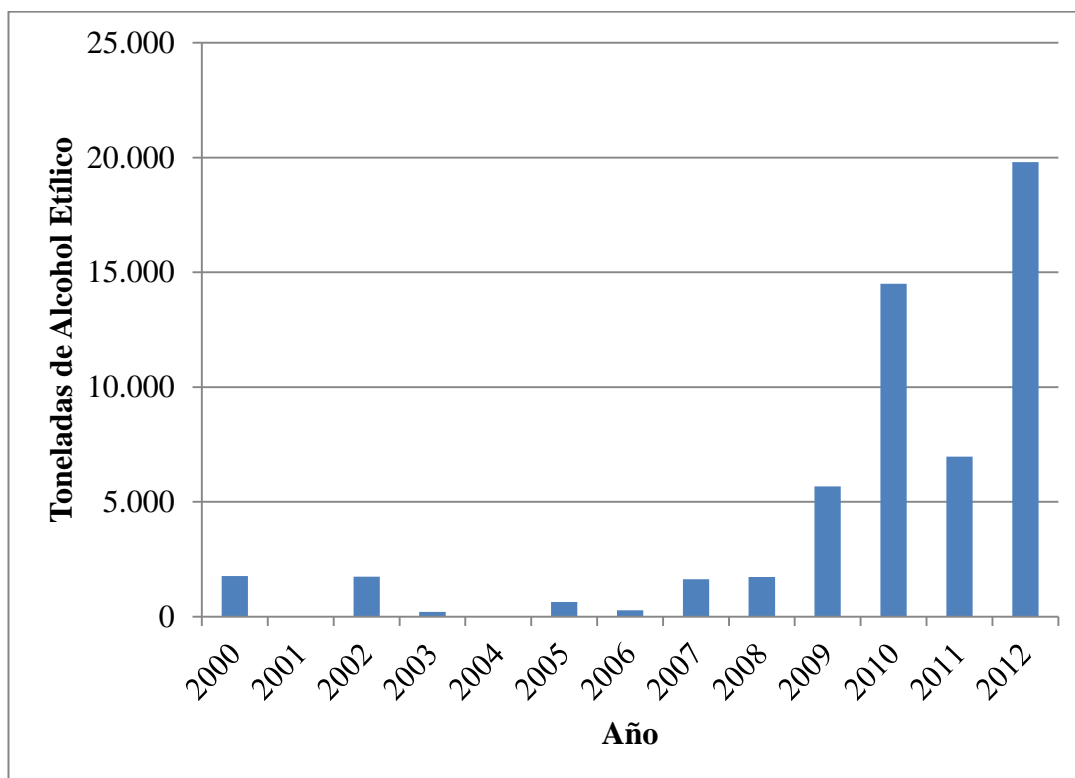
De las exportaciones revisadas desde el 2000 hasta el 2012 de los datos del Banco Central del Ecuador el principal país al cual se exporta alcohol etílico es Colombia. Otros países que reciben alcohol ecuatoriano en mucha menor proporción que Colombia son: Perú, Chile y República Dominicana, entre otros. Las importaciones casi en su totalidad son provenientes de Perú.

Gráfico 2.21 Exportaciones de alcohol etílico del Ecuador



Fuente: Banco Central del Ecuador, <http://www.bce.fin.ec/contenido.php?CNT=ARB0000203>
Elaboración: Propia

Gráfico 2.22 Importaciones de alcohol etílico al Ecuador



Fuente: Banco Central del Ecuador, <http://www.bce.fin.ec/contenido.php?CNT=ARB0000203>
Elaboración: Propia

CAPÍTULO 3: PERSPECTIVAS DE PRODUCCIÓN Y USO DE ETANOL COMO CARBURANTE EN EL ECUADOR

3.1. CONSUMO NACIONAL DE GASOLINA EXTRA, GASOLINA SÚPER Y ECO PAÍS

El octanaje o número de octano es una medida de la calidad y capacidad antidetonante de las gasolinas. Las gasolinas que tienen un alto índice de octano producen una combustión más suave y efectiva.²

Tabla 3.1 Consumo nacional de Gasolina Súper, Extra y Extra con Etanol

AÑO	GASOLINAS			
	SÚPER	EXTRA	EXTRA CON ETANOL	TOTAL POR AÑO
	Cifras en Barriles			
2000	1.013.476	10.542.356	-	11.555.832
2001	1.410.684	10.696.786	-	12.107.470
2002	2.166.647	10.502.696	-	12.669.343
2003	2.432.445	10.046.921	-	12.479.366
2004	2.711.228	10.477.672	-	13.188.900
2005	2.978.777	10.952.688	-	13.931.465
2006	3.338.197	11.648.592	-	14.986.789
2007	3.726.366	12.411.353	-	16.137.719
2008	4.127.223	13.421.886	-	17.549.109
2009	4.439.697	14.351.214	-	18.790.911
2010	4.683.124	14.758.322	569.251	20.010.696
2011	5.506.781	15.980.138	899.443	22.386.362
2012	5.346.169	17.176.578	1.074.150	23.596.897

Fuentes: Estadísticas de Planificación de Petroecuador, Unidad de Programación y Planificación, Petrocomercial. Dirección de Estadísticas Económicas, Banco Central del Ecuador

En el país actualmente se distribuye: gasolina extra, gasolina súper y gasolina extra con 5% de etanol (Ecopaís). La gasolina extra tiene 87 octanos, y la

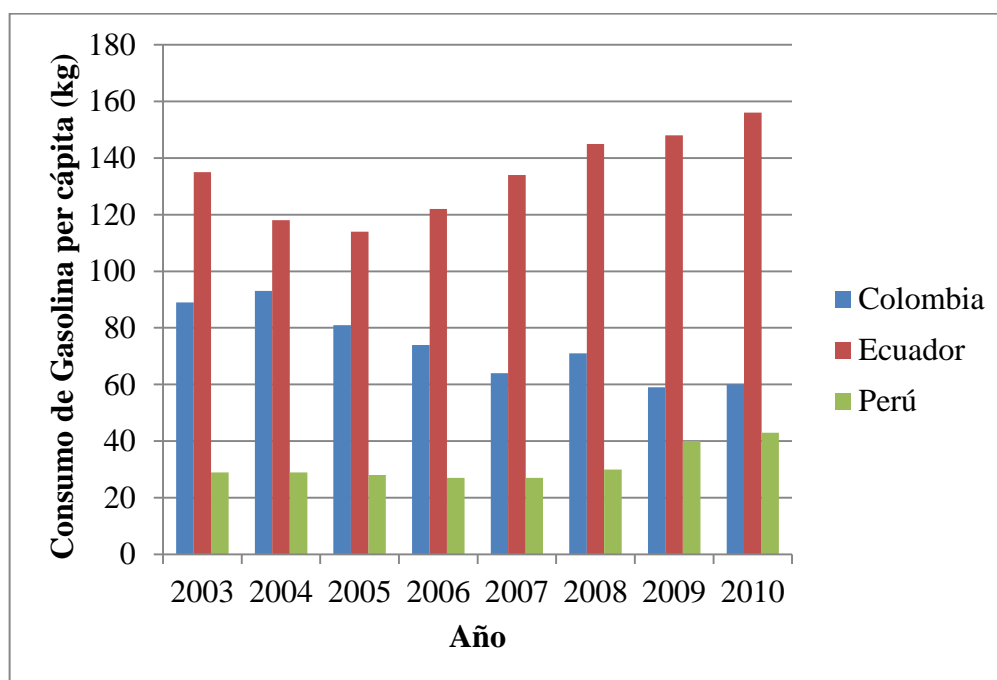
² <http://ciencianet.com/gasolina.html>

súper 92 octanos. El octanaje de las gasolinas extra y súper se incrementó desde abril del 2012, lo cual según los técnicos de Petroecuador representa una mejor calidad en el producto, mejor rendimiento de los vehículos y reducción de los niveles de contaminación.

3.1.1. Consumo de gasolina per cápita en Colombia, Ecuador y Perú

El consumo de gasolina per cápita en los países vecinos de Colombia y Perú es más bajo que en el Ecuador. Hay que mencionar que ambos países no tienen subsidios generalizados en todo su territorio a los combustibles y que una parte considerable del combustible ecuatoriano se pasa a los países vecinos por contrabando.

Gráfico 3.1 Consumo de gasolina del sector vial per cápita (kilogramos)
Colombia, Ecuador y Perú



Fuente: <http://datos.bancomundial.org/indicador/IS.ROD.SGAS.PC/countries?page=1&display=default>
Elaboración: Propia

El consumo de combustible per cápita en el Ecuador en el año 2010 es 2.6 veces mayor que en Colombia y 3.6 veces mayor que en Perú. Sin embargo el consumo en Colombia tiende a bajar y en Perú tiende a subir.

3.2. IMPORTACIÓN DE NAFTA DE ALTO OCTANO Y GASOLINA EXTRA

En la Refinería de Esmeraldas se produce gasolina súper y extra (92 y 87 octanos) con un contenido de azufre de alrededor de 1.400 ppm, razón por la cual hay que mezclar estas gasolinas con NAO importada con bajo contenido de azufre para alcanzar el requerimiento de la norma NTE INEN 935- Derivados del petróleo- Gasolina requisitos, la cual especifica que el contenido máximo de azufre para la gasolina Extra en 0,075% P (750 ppm) y que el contenido máximo de azufre en la gasolina Súper en 0,1% P (1.000 ppm).

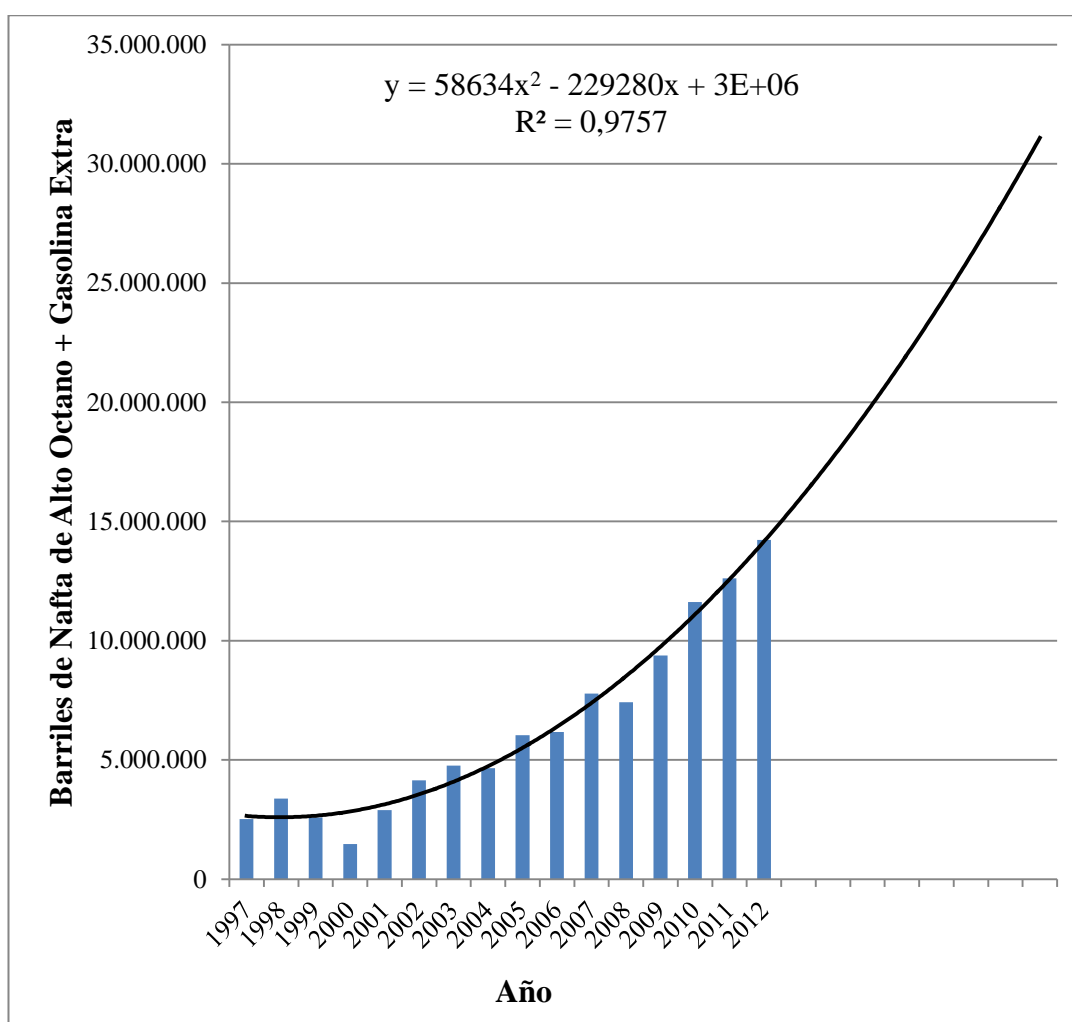
Tabla 3.2 Importación de nafta de alto octano y gasolina extra

IMPORTACIÓN DE GASOLINAS			
AÑO	Cifras en Barriles		
	GASOLINA EXTRA	NAFTA DE ALTO OCTANO	TOTAL POR AÑO
2000		1.468.229	1.468.229
2001		2.896.929	2.896.929
2002		4.137.636	4.137.636
2003		4.764.469	4.764.469
2004		4.649.209	4.649.209
2005		6.037.719	6.037.719
2006		6.175.077	6.175.077
2007		7.784.652	7.784.652
2008		7.413.112	7.413.112
2009		9.376.986	9.376.986
2010	2.767.132	8.856.212	11.623.345
2011	1.533.221	11.077.660	12.610.881
2012		14.231.772	14.231.772

Fuentes: Estadísticas de Planificación de Petroecuador, Unidad de Programación y Planificación, Petrocomercial. Dirección de Estadísticas Económicas, Banco Central del Ecuador

En la Refinería de la Libertad y la Refinería Amazonas se produce solamente gasolina Extra. Otra de las causas por las cuales se importa Nafta de Alto Octano es que los volúmenes producidos en las tres refinerías suman aproximadamente el 50% de toda la gasolina que se consume en el Ecuador por lo que el otro 50% restante proviene de la importación. En el gráfico 3.2 se observan las importaciones de nafta de alto octano y gasolina extra al país. Estas importaciones tienen un crecimiento muy alto y las proyecciones indican que para el año 2020 se estarían importando alrededor de 30.000.000 barriles de estos productos.

Gráfico 3.2 Importaciones de NAO y GE 1997 – 2012 y proyecciones hasta el 2020

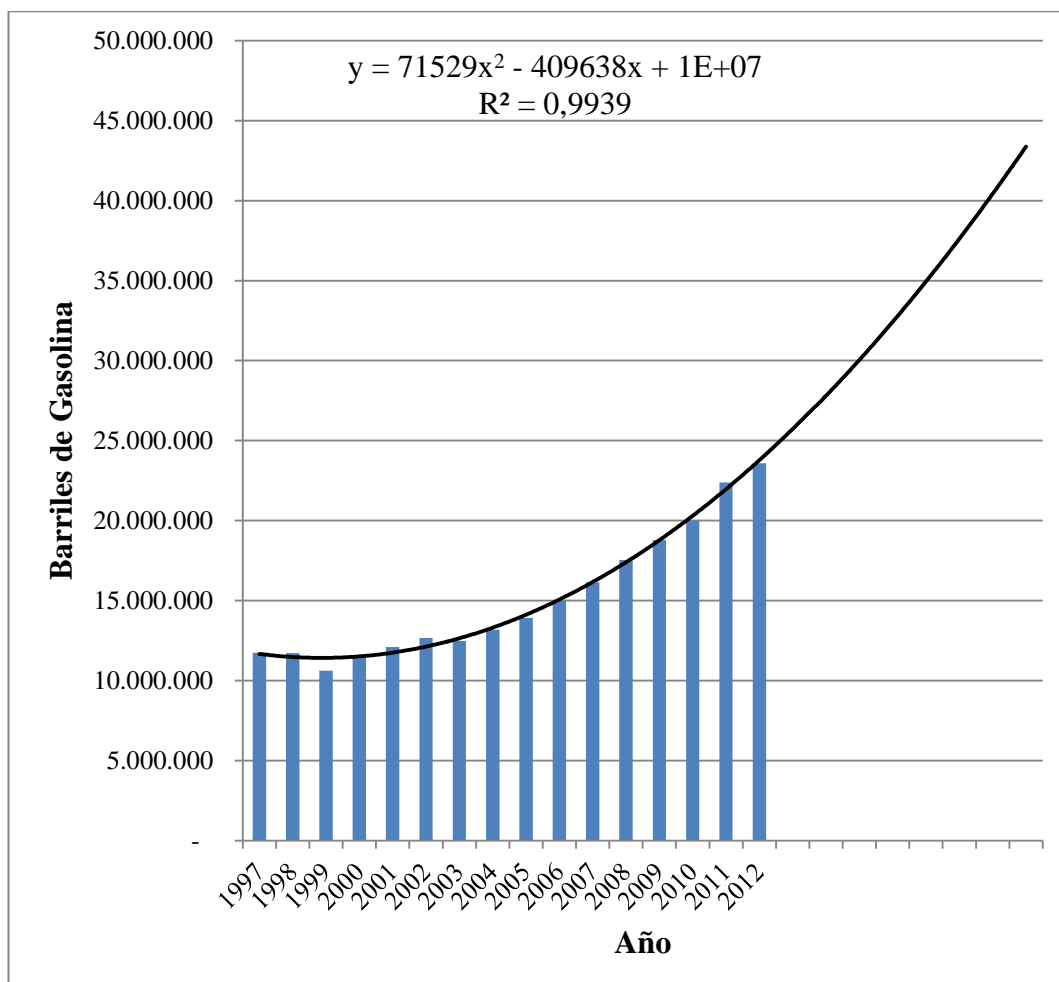


Fuentes: Estadísticas de Planificación de Petroecuador, Unidad de Programación y Planificación, Petrocomercial. Dirección de Estadísticas Económicas, Banco Central del Ecuador

Elaboración: Propia

3.3. PROYECCIONES DEL USO DE GASOLINA EN EL ECUADOR

Gráfico 3.3 Consumo de Gasolinas 1997 – 2012 y proyecciones hasta el 2020



Fuentes: Estadísticas de Planificación de Petroecuador, Unidad de Programación y Planificación, Petrocomercial. Dirección de Estadísticas Económicas, Banco Central del Ecuador

Elaboración: Propia

3.4. PROYECCIONES DE CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL PAÍS

En el Ecuador se cosecharon alrededor de 80.000 hectáreas de caña de azúcar en el 2011 (CINCAE). Este dato se incluyen los 6 ingenios como también los pequeños productores que utilizan sus cosechas para producir panela, aguardiente, caña fruta y otros productos tradicionales. Hay mayor número de

hectáreas sembradas pero no cosechadas en dicho año, éstas pueden ser alrededor de un 10% adicional.

Desde el 2012 el proyecto “Programa nacional de Agroenergía” ejecutado por el MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca) a través de la Subsecretaría Agrícola tiene planificado que en un periodo de 4 años las extensiones de cultivo de los pequeños agricultores se incrementen en 6.000 hectáreas.

Adicionalmente, bajo la coordinación del MCPEC (Ministerio Coordinador de la Productividad, Empleo y Competitividad), MIPRO (Ministerio de Industrias y Productividad) y el MAGAP buscan trabajar en las zonas de producción de alcohol artesanal como son las asociaciones productoras de alcohol de las provincias de Pichincha, Bolívar, Azuay, Cañar y Cotopaxi. Como parte de este proyecto en el 2012 en la provincia de Cotopaxi se han incorporado 300 hectáreas de caña de azúcar.

Las iniciativas privadas son las que más extensiones de cultivo de caña de azúcar aportan al país. Las empresas que recientemente iniciaron sus operaciones en la primera semana de Julio 2013 según la prensa nacional son: Miguel Ángel con 4.000 hectáreas en el cantón el Triunfo y San Juan con 2000 hectáreas en el cantón Villamil Playas. Se espera que anualmente el ingenio Miguel Ángel aporte alrededor de 500.000 sacos de azúcar y San Juan aproximadamente 160.000 sacos de azúcar.

Las superficies potenciales de siembra a nivel nacional pueden ser observadas en la figura 3.1, Estas áreas fueron determinadas por el MAGAP en consenso con el Ministerio del Ambiente, revisando que los parámetros técnicos y verificando que las zonas no sean áreas protegidas ni bosque nativo. Según datos del Sigagro existen 438.006 hectáreas con potencial de siembra de caña de azúcar, las provincias de Guayas, Cañar, Santa Elena, Los Ríos y Santo Domingo de los Tsáchilas son según estos datos las más calificadas para este cultivo.

La producción de azúcar en los últimos años se ha incrementado porque paulatinamente hay mayores inversiones en cultivos de caña y debido a que los rendimientos de los cultivos han mejorado. El CINCAE (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar) que es una entidad privada que se mantiene con el financiamiento de los ingenios ha apoyado mucho a los pequeños y medianos agricultores para que mejoren sus prácticas agrícolas.

El consumo de azúcar en el país es de 33 kilos/habitante/año, hay 15.772.000 habitantes según datos del INEC (Junio, 2013). Con los datos anteriores se deduce que en el Ecuador son necesarias para abastecer el mercado interno alrededor de 520.000 toneladas métricas de azúcar. La producción actual oscila alrededor de esa cantidad, con un pequeño excedente para exportaciones. Los dos nuevos ingenios aportarán en total 33.000 toneladas adicionales al año.

3.5. PROYECCIÓN DE PRODUCCIÓN DE ALCOHOL EN EL ECUADOR

Las tres grandes destiladoras de alcohol etílico en el país, Codana, Soderal y Producargo, producen alrededor de 157.000 litros de alcohol por día. La totalidad de este alcohol se produce a partir de la melaza la cual es un subproducto de la elaboración de azúcar en los ingenios asociados a cada planta de elaboración de alcohol etílico. Los dos nuevos ingenios aportarían con una cantidad adicional de melaza para el mercado de producción de etanol.

La producción artesanal bordea los 14.000 litros por día (CONSEP). Este alcohol artesanal es producto de la fermentación del jugo de la caña de azúcar. Con los programas que el gobierno ecuatoriano está desarrollando para que esta producción artesanal sea vendida por parte de las asociaciones de cañicultores a las destiladoras para la obtención de alcohol carburante, se tiene la posibilidad de que gran parte de esta producción de etanol se la utilice como combustible.

Adicionalmente si se logra cumplir el objetivo del “Programa Nacional de Agroenergía” el cual tiene como uno de sus objetivos incrementar para el año 2016 alrededor de 6.000 hectáreas de cultivos de productores pequeños y medianos y si se considera un rendimiento por hectárea de caña de 3.600 litros (Tabla 2.3 Rendimientos de alcohol a partir de diferentes materias primas) se podría tener 60.000 litros diarios de alcohol etílico adicionales.

También hay que tomar en cuenta las iniciativas privadas que van a sumar la cantidad de alcohol a producirse en el país. Las políticas del gobierno están incentivando tanto el cultivo como el procesamiento de caña de azúcar y palma africana para la producción de alcohol etílico y biodiesel.

Como se analizó en el Capítulo 2 la producción de azúcar en el país abastece el consumo interno por lo que a partir de esto cualquier excedente de producción de caña estaría destinado a la producción de azúcar para exportación o a la producción de alcohol.

3.6. COMPARACIONES DE LA PRODUCCIÓN DE ALCOHOL VS GASOLINA QUE SE CONSUME EN QUITO Y SUS RESPECTIVAS PROYECCIONES

Los combustibles que se consumen en la ciudad de Quito son cargados a los tanqueros de distribución desde la Terminal de Despacho del Beaterio. Los tanqueros llevan el combustible a las estaciones de servicio que son propiedad de las diferentes comercializadoras las cuales son empresas autorizadas por el estado para ejercer dicha actividad.

En el Anexo C, tabla C.4, se encuentran los volúmenes de gasolina extra y gasolina súper que son destinadas a la Provincia de Pichincha. De la cantidad total que consume la provincia el 85% es destinado para el Distrito Metropolitano de Quito

según estimaciones del INER (Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables).

En el año 2012 se registró un consumo de 162.255.035 galones de gasolina extra en la provincia de Pichincha (Anexo 4, tabla C.4), si se considera un 85% destinado para la ciudad de Quito entonces se tiene que el consumo de este tipo de gasolina representa 137.916.780 galones anuales (Anexo 4, tabla C.5). Con este dato se elabora la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Volumen de etanol anhidro que se debería añadir a la Gasolina Extra que se consume en Quito para reemplazar el 3%, 5% y 10% del volumen

Volumen de Etanol anhidro en la gasolina extra			
(Galones)			
Porcentaje	Anual	Mensual	Diario
3 %	4.137.503	344.792	11.493
5 %	6.895.839	574.653	19.155
10 %	13.791.678	1.149.306	38.310

3.7. BASES Y REFERENCIAS LEGALES EN EL ECUADOR PARA PROYECTOS DE BIOCOMBUSTIBLES

El uso de biocombustibles líquidos en un porcentaje es consecuente con lo establecido en los instrumentos políticos y normativos vigentes, incluyendo, entre otros: la Constitución de la República del Ecuador (2008); los objetivos nacionales, estrategias generales, y prioridades establecidas en el Plan Nacional para el Buen Vivir 2009 - 2013; en varias Políticas y Agendas Sectoriales y en varios Decretos Presidenciales

3.7.1. Constitución Política del Ecuador

El Artículo 413 busca promover la eficiencia energética; el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas; las energías renovables,

diversificadas, de bajo impacto que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria; el equilibrio ecológico de los ecosistemas; y el derecho al agua (Asamblea Constituyente, 2008).

El Artículo 414 busca la adopción de medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático mediante la limitación tanto de las emisiones de GEI, como de la deforestación y la contaminación atmosférica; adoptando además medidas para la conservación de los bosques y la vegetación; y para la protección de la población en riesgo (Asamblea Constituyente, 2008).

3.7.2. Los Biocombustibles como sector estratégico

Constitución de la República del Ecuador, Capítulo Quinto: Sectores estratégicos, servicios y empresas públicas., Artículo 313: El Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia. Los sectores estratégicos, de decisión y control exclusivo del Estado, son aquellos que por su trascendencia y magnitud tienen decisiva influencia económica, social, política o ambiental, y deberán orientarse al pleno desarrollo de los derechos y al interés social. Se consideran sectores estratégicos la energía en todas sus formas

La Constitución de la República del Ecuador establece que la energía en todas sus formas es un “sector estratégico”. Para los sectores estratégicos el Estado se reserva el derecho de administrar, regular y controlar su gestión, siguiendo principios de sostenibilidad ambiental y eficiencia. Los biocombustibles son un sector estratégico.

3.7.3. Plan Nacional para el Buen Vivir

El Plan Nacional para el Buen Vivir (PNVB) 2009 – 2013 (SENPLADES, 2009) es el instrumento de gestión pública que determina las directrices de

planificación e inversión pública a nivel nacional; como tal, es el instrumento en el cual se basa toda la gestión pública del país. El Plan es actualizado periódicamente. Parte de los elementos del PNBV determinan que el país debe desarrollar una estrategia de planificación nacional a largo plazo (2030). Dicha estrategia deberá construir una nueva forma de generación, distribución y redistribución de riqueza para alcanzar el Buen Vivir, promoviendo el florecimiento de las capacidades y potencialidades de los individuos. Se plantea en un mediano y largo plazo salir paulatinamente del modelo económico primario exportador, democratizar el acceso a los medios de producción, crear las condiciones para incrementar la productividad y generar empleo de manera inmediata. En este sentido, la estrategia de planificación a largo plazo del PNBV está orientada a incentivar la construcción de una sociedad de bio-conocimiento y de servicios eco-turísticos comunitarios, y la construcción de industrias propias relativas a la bio y nanotecnología (SENPLADES, 2009). (Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador, Ministerio del Ambiente)

La estrategia a largo plazo del PNBV plantea cuatro fases. La primera fase es de transición en términos de acumulación, en la cual persiste la dependencia de los bienes primarios pero profundiza la redistribución, impulsa al sector turístico, la inversión pública estratégica, la producción sistemática, el cambio en la matriz energética, la desagregación y transferencia de tecnología, y la formación y fortalecimiento de capacidades humanas. La segunda fase se fundamenta en el fortalecimiento de la industria nacional frente a la de base primaria, buscando consolidar un superávit, principalmente a través de la producción y consumo de energía limpia y bio-energía. La tercera fase consolida una estrategia de diversificación y sustitución de importaciones, además busca sustituir exportaciones por bienes con mayor valor agregado y no exclusivamente dependientes de procesos productivos; incluye también la inversión en ciencia y tecnología para la innovación productiva. Finalmente, la cuarta fase busca entre otros, el despegue de los bio-servicios y su aplicación tecnológica (SENPLADES, 2009). (Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador, Ministerio del Ambiente)

La Política 4.3 del Plan Nacional del Buen Vivir tiene como objetivo: diversificar la matriz energética nacional, desde la promoción de la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles. Los lineamientos de esta política incluyen: (1) aplicar programas, e implementar tecnología e infraestructura orientadas al ahorro y a la eficiencia de las fuentes actuales y a la soberanía energética; (2) aplicar esquemas tarifarios que fomenten la eficiencia energética en los diversos sectores de la economía; (3) impulsar la generación de energía de fuentes renovables o alternativas con enfoque de sostenibilidad social y ambiental; (4) promover investigaciones para el uso de energías alternativas renovables, incluyendo entre otras la mareomotriz y geotérmica bajo parámetros de sustentabilidad en su aprovechamiento; (5) reducir gradualmente el uso de combustibles fósiles en vehículos, embarcaciones y generación termoeléctrica, y sustituir gradualmente vehículos convencionales por eléctricos en el Archipiélago de Galápagos; y (6) diversificar y usar tecnologías ambientalmente limpias y energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto en la producción agropecuaria e industrial y de servicios. (Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador, Ministerio del Ambiente)

3.7.4. Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas

Por otro lado el Artículo 67, Literal d, del Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador Publicada en el Registro Oficial No. 265 – 13 de febrero de 2001, señala que la calidad de los combustibles podrá ser mejorada mediante la incorporación de aditivos oxigenados en refinería y/o terminales, hasta un equivalente de 2,7% de O₂ en peso.

También indica que se preferirá y fomentará la producción y uso de aditivos oxigenados, tal como el etanol anhidro, a partir de materia prima renovable.

3.7.5. Decretos Ejecutivos

Se creó el 30 de noviembre de 2004 por Decreto Ejecutivo N° 2332, publicado en el Registro Oficial N° 482 el 15 de diciembre de 2004. El Decreto Ejecutivo N° 2332 fue reformado por el Decreto Ejecutivo N° 146 del 27 de febrero de 2007 y publicado en el Registro Oficial N° 39 el 12 de marzo de 2007. El Decreto Ejecutivo N° 2332, establece en su Artículo Primero el interés nacional en la producción, comercialización y uso de biocarburantes como componente en la formulación de los combustibles que se consumen en el país, así como la producción agrícola destinada a la preparación de biocarburantes. Los objetivos principales son reducir la contaminación ambiental, fomentar la generación de empleo mediante el desarrollo agropecuario y agroindustrial, y disminuir la dependencia de las importaciones de combustibles

El Decreto N° 2332 fue sustituido por el Decreto N° 146, donde se crea el Consejo Nacional de Biocombustibles, con las mismas atribuciones y funciones que las contenidas en el Decreto N° 2332, y que tendrá a su cargo la tarea de establecer “políticas y mecanismos de apoyo preferencial a los sectores agrícola y agro industrial, especialmente a los pequeños productores, y regulará el precio del biocombustible de que se trate”. Establece también cómo estará conformado el Consejo.

El Consejo Nacional de Biocombustibles está conformado por:

- a) El Ministro de Energía y Minas, quien lo presidirá;
- b) El Ministro de Agricultura y Ganadería o su delegado;
- c) El Ministro del Ambiente o su delegado;
- d) El Ministro de Industrias y Competitividad o su delegado;
- e) El Ministro de Economía y Finanzas o su delegado;
- f) El delegado de la Federación de Azucareros del Ecuador (FENAZUCAR) y la Asociación de Productores de Alcohol del Ecuador (APALE);
- g) El delegado de los distribuidores de combustibles del país; y,

h) El Delegado de la Asociación de Cultivadores de Palma Africana (ANCUPA).

- Los delegados del sector privado asistirán a las sesiones del Consejo con derecho de voz pero no de voto.
- Actuará como Secretario el Presidente Ejecutivo de Petroecuador. En caso de falta o ausencia, el Presidente del Consejo designará un Secretario ad-hoc.
- El Consejo podrá invitar a participar en sus sesiones a las personas o representantes de entidades públicas o privadas, que tengan interés en el tratamiento de las temáticas del sector de biocombustibles, cuyos criterios puedan constituir aportes importantes para la búsqueda de soluciones o alternativas.

3.8. BIOCOMBUSTIBLES DE PRIMERA, SEGUNDA Y TERCERA GENERACIÓN

Los biocombustibles de primera generación se obtienen de materias primas que también se utilizan para alimento de la población, los biocombustibles de segunda generación se los procesa a partir de materiales lignocelulósicos y los de tercera generación a partir de algas cultivadas con este fin.

3.8.1. Biocombustibles de primera generación

Las materias primas para la producción de estos biocombustibles son los materiales azucarados como por ejemplo, la caña de azúcar, remolacha azucarera o mandioca de los cuales se obtiene el bioetanol y los materiales oleaginosos como el girasol, la soja, la palma aceitera y la colza para la producción de biodiesel. Estos cultivos han sido utilizados principalmente para la alimentación de la población (Saulino, 2011). Sin embargo, en muchos países hace algunos años ya se han comercializado como biocombustibles. (Timilsina y Shrestha, 2010).

3.8.2. Biocombustibles de segunda generación

Debido al incremento en la demanda de energía, el decremento previsto de las reservas de petróleo y los altos costos de exploración, y la preocupación respecto al correcto uso del suelo se ha puesto atención en la obtención de etanol a partir de materiales lignocelulósicos o de segunda generación, los cuales son abundantes y relativamente baratos (Días et al., 2013).

Estos biocombustibles se producen mediante la conversión de la biomasa lignocelulósica proveniente de la madera, residuos agrícolas y forestales. Un ejemplo de estos materiales es el bagazo de la caña de azúcar que se utiliza como combustible en las calderas para suministrar energía para el proceso o simplemente se quema en los campos (Días et al., 2013).

Las sustancias celulósicas de las plantas contienen celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa es el componente básico de las paredes de las células vegetales. Es un polisacárido estructural que forma parte de los tejidos de soporte. En biomasa representa el 50 por ciento de las paredes de las células, por lo cual es el compuesto químico orgánico más abundante en el mundo. La celulosa es un polisacárido compuesto exclusivamente de moléculas de β -glucosa; es en consecuencia un homopolisacárido formado de un solo tipo de monosacárido; su fórmula química sumaria es $(C_6H_{10}O_5)_n$. (Hackenberg, 2008)

La hemicelulosa es también un componente de las paredes de las células de las plantas. Su función es la de una sustancia de soporte y armadura, básicamente se trata de un heteropolisacárido compuesto por un conjunto heterogéneo de polisacáridos que a su vez están formados por monosacáridos como la glucosa, la galactosa y la fructosa. (Hackenberg, 2008)

La lignina es una sustancia sólida e incolora que se deposita en las paredes de las células vegetales, causando la formación de madera (lignificación). La lignina es una macromolécula fenólica. (Hackenberg, 2008)

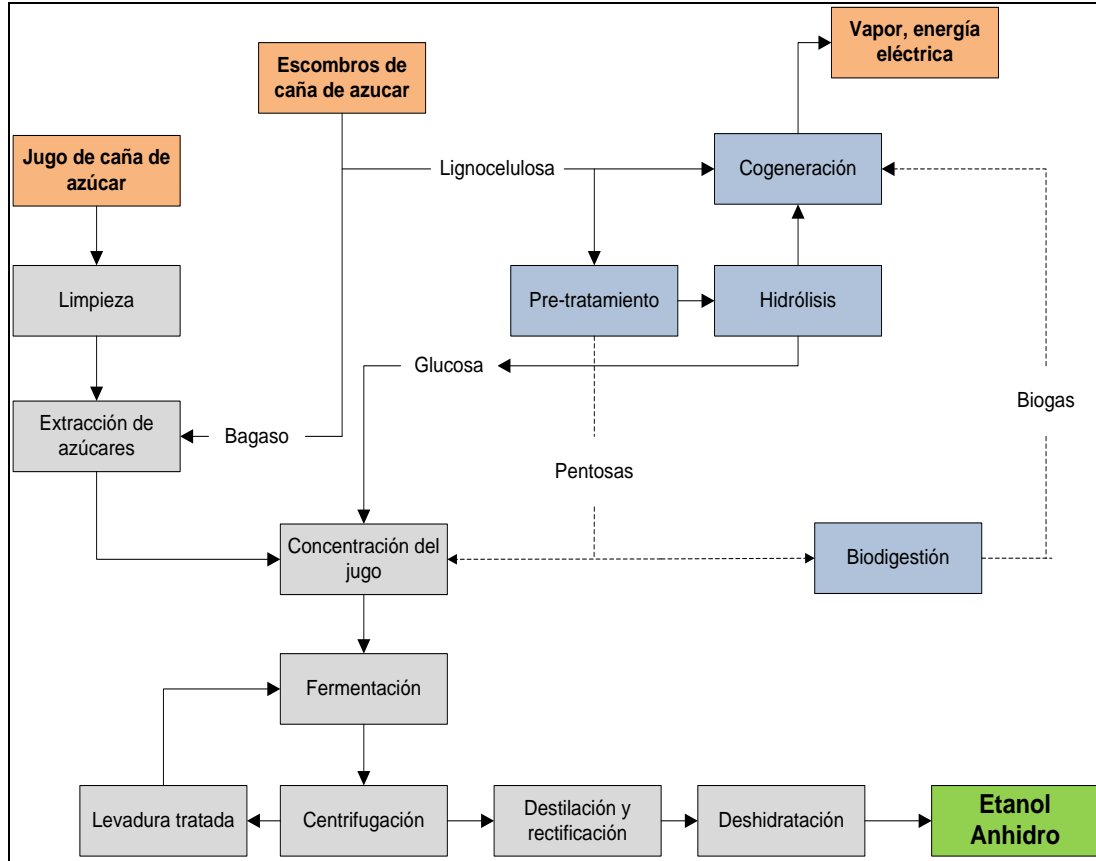
Convertir las materias primas lignocelulósicas en bioetanol es solamente posible después de fracturar la celulosa y dividirla en glucosa y otros tipos de azúcar en un primer paso del procesamiento, llamado sacarificación. Estos azúcares pueden ser convertidos en bioetanol a través de fermentación en el segundo paso del procesamiento. Para fracturar la lignocelulosa se utiliza normalmente enzimas producidas mediante distintos tipos de levaduras. Los aspectos químicos relevantes en estos procesos no son aún conocidos del todo; además las enzimas son costosas, y falta todavía una oferta comercial de productos enzimáticos adecuados. (Hackenberg, 2008)

La materia prima de segunda generación requiere como paso previo a la fermentación la transformación de sus moléculas en azúcares simples a través de un proceso enzimático con adición de calor. La biomasa celulósica es difícil de hidrolizar para convertirla en azúcares fermentables, por lo que la tecnología para transformarla en combustibles líquidos actualmente es más costosa que los procesos para obtención de biocombustibles de primera generación. (Días et al., 2013)

La producción de etanol de segunda generación consta de ciertos procesos entre los que se pueden mencionar: el pre-tratamiento del material lignocelulósico con exposición a vapor, seguidamente o no de deslignificación alcalina, y la hidrólisis enzimática o ácida. (Días et al., 2013)

En la figura 3.2 se presenta el sistema de cogeneración en el cual el bagazo de caña de azúcar y sus escombros se utilizan como combustible y la cantidad que exceda de la requerida para abastecer la demanda de energía térmica de la planta se utiliza como materia prima en el proceso de producción de etanol de segunda generación.

Figura 3.2 Diagrama de bloques del proceso integrado de producción de etanol de primera y segunda generación, a partir de caña de azúcar



Fuente: Días et al., 2013

Según la IEA (International Energy Agency) el costo de producir etanol a partir de jugo de caña de azúcar en una planta nueva en Brasil es de 0,20 dólares/litro. El costo actual de producir etanol de materia prima celulósica es de 1 dólar/litro. También estiman que los costos de producción de etanol a partir de biomasa celulósica sea 0,63 dólares/ litro en los próximos 5-8 años, 0,37 dólares/ litro en los próximos 8-12 años, y 0,25 dólares/ litro en los próximos 13-20 años.

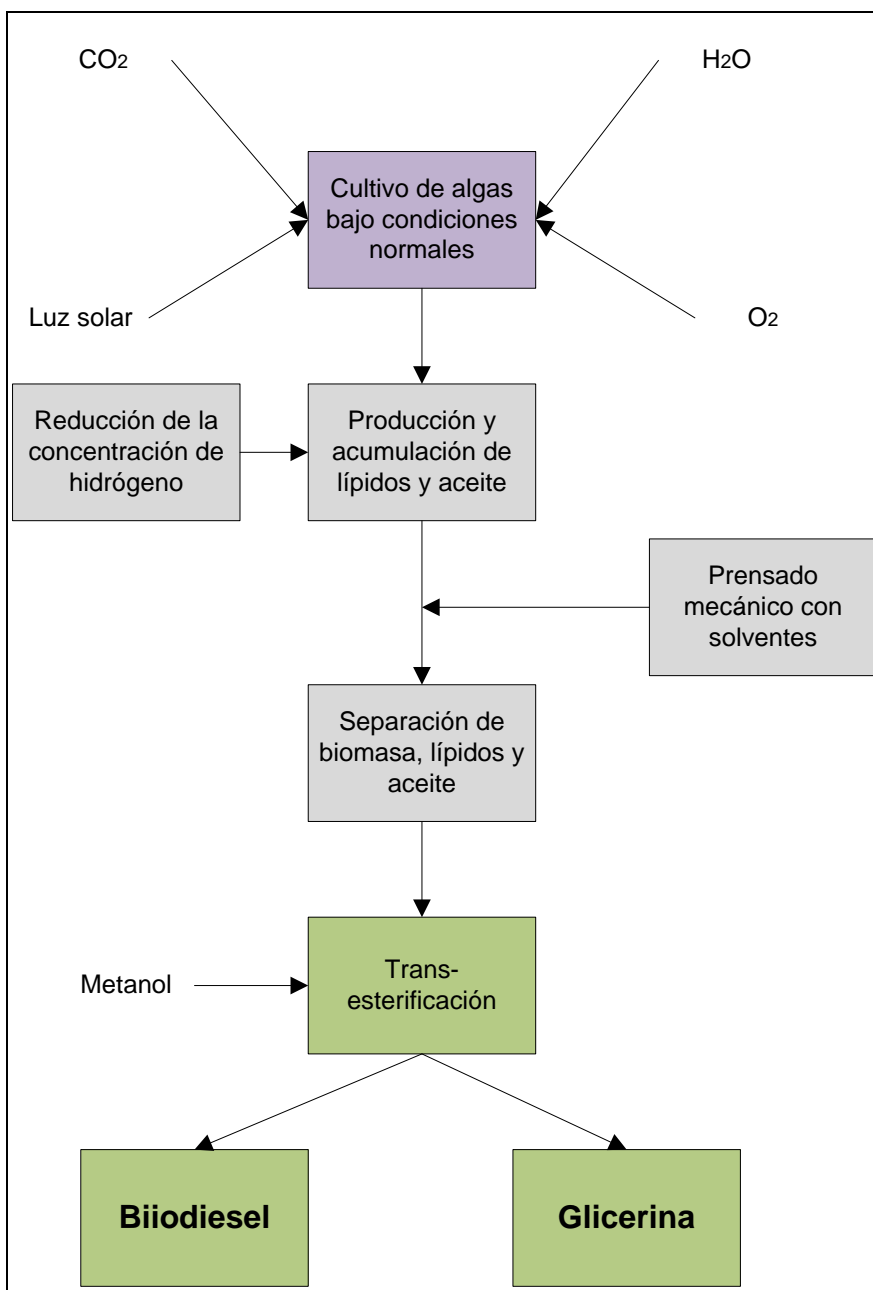
3.8.3. Biocombustibles de tercera generación

Mediante tecnologías avanzadas se producen los biocombustibles de tercera generación a partir de algas. Algunas algas producen fécula, la que se puede convertir en bioetanol; otras producen pequeñas gotas de aceite el cual se puede aprovechar para la producción de biodiesel.

La ventaja en la utilización de algas para la producción de biocombustibles son las siguientes (INTA, 2008):

- Alta eficiencia fotosintética, de pruebas piloto se concluye que las producciones anuales de aceite a base de algas son entre 2 – 550 veces superiores que otros cultivos. Se estima que la producción anual de aceites por parte de las algas, podría rondar los 90.000 L/Ha; frente a los 450 L/Ha que produce la soja, o 1.200 L/Ha que produce la canola o 6.000 L/Ha que produce la palma. La biomasa sobrante podría ser utilizada como alimento para animales.
- Son un grupo de organismos netamente acuáticos que no requieren de tierra para su cultivo
- El agua utilizada en los cultivos de algas puede ser dulce o salada.
- Tienen una mucha mayor capacidad de absorber CO₂ con respecto a las plantas verdes.

Figura 3.3 Proceso de obtención de bio-diesel a partir de las algas



Fuente: INTA, 2008

CAPITULO 4: CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE CO₂ PRODUCIDAS EN LA CIUDAD DE QUITO DEBIDO A LOS MOTORES DE CICLO DE OTTO SIN ETANOL Y CON ETANOL ANHIDRO

4.1 MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

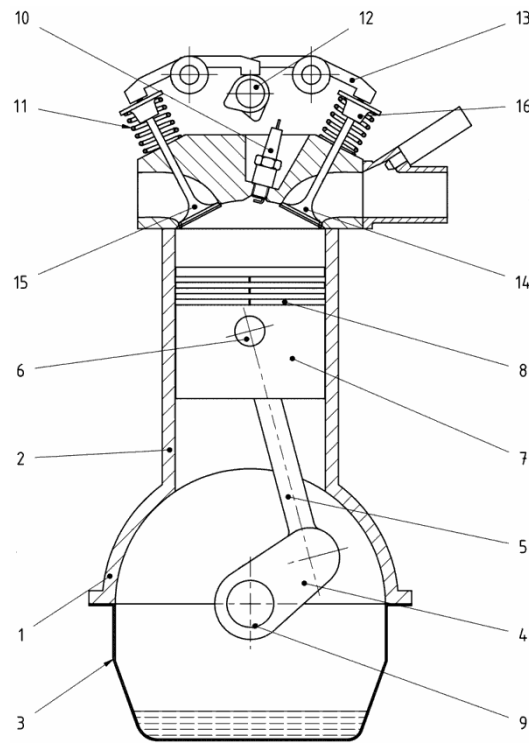
Un motor de combustión interna es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química de un combustible que reacciona dentro de la cámara de combustión.

El ciclo de un motor se constituye mediante las transformaciones físicas y químicas que sufre el combustible durante su paso por dentro del motor de combustión interna: compresión, expansión, combustión, transmisión de calor con las paredes, rozamientos en la masa del fluido y con las paredes, etc.

Los componentes de un motor de combustión interna son los siguientes:

- | | |
|---------------------------------|----------------------------|
| 1.- Bancada | 9.- Eje cigueñal |
| 2.- Cilindro | 10.- Bujía |
| 3.- Bandeja, depósito de aceite | 11.- Resorte de válvula |
| 4.- Cigueñal | 12.- Árbol de levas |
| 5.- Biela | 13.- Balancín |
| 6.- Pasador del émbolo | 14.- Válvula de escape |
| 7.- Pistón | 15.- Válvula de aspiración |
| 8.- Aros de compresión | 16.- Cabeza de la válvula |

Figura 4.1 Componentes de un motor de combustión interna



El cilindro es el contenedor en forma cilíndrica en el cual se mueve el pistón con movimiento rectilíneo alternativo. El cilindro es parte del bloque de cilindros. Éste, a su vez, forma parte de la bancada que podemos considerar como la estructura fundamental del motor. La parte superior del cilindro está cerrada por la culata. El volumen comprendido en el cilindro entre la culata y el pistón representa la cámara de combustión, en la cual se quema la mezcla de aire y combustible.

Los motores de encendido por chispa funcionan a 4 o a 2 tiempos, pero el ciclo de 2 tiempos es poco usado a causa de las pérdidas de mezcla que se producen a través del escape y del consiguiente elevado consumo del combustible. El combustible de un motor Otto es la gasolina, que es un hidrocarburo ligero de elevado poder calorífico que se evaporan fácilmente.

Cada carrera completa corresponde a media vuelta del cigüeñal. Por lo tanto para realizar el ciclo completo se requieren dos revoluciones completas en el motor de cuatro tiempos.

El análisis cuantitativo de estos fenómenos teniendo en cuenta todas las numerosas variables, representa un problema muy complejo por lo que se simplifica recurriendo a sucesivas aproximaciones teóricas. A estos ciclos teóricos se comparan en la práctica los ciclos reales. Los ciclos teóricos no son iguales a los ciclos reales, pero son una herramienta muy útil para estudiar termodinámicamente los motores de combustión interna.

4.1.1 Ciclo Teórico Estándar de Aire (Ciclo de Otto)

El ciclo que se produce dentro del motor de combustión interna es bastante complejo. Primero una mezcla de aire – combustible ingresa dentro de la cámara de combustión y se mezcla con una pequeña cantidad de residuos gaseosos remanentes del ciclo previo. Esta mezcla luego se comprime y combustiona. Los productos de la combustión son en su mayoría: CO_x , H_2O y NO_x junto con muchos otros componentes en menor cantidad. Luego, después del proceso de expansión, la válvula de salida es abierta y los gases salen al exterior. Debido a que es un ciclo abierto con cambio de composición química es un sistema muy difícil de analizar. Para hacer el análisis del ciclo del motor de combustión interna, el ciclo real es aproximado a un ciclo estándar ideal de aire el cual difiere del real en lo siguiente:

- En los ciclos teóricos o ciclos ideales se supone que el fluido operante está constituido por aire y que éste se comporta como un gas perfecto. Por ello, los

valores de los calores específicos se consideran constantes e iguales al del aire a 15° de temperatura y 1 atmósfera de presión:

$$C_p = 0,241 \frac{\text{calorías}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$C_v = 0,172 \frac{\text{calorías}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Donde resulta:

$$k = \frac{0,241 \frac{\text{caloría}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}}{0,172 \frac{\text{calorías}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}} = 1,40$$

A bajas temperaturas este valor de k es correcto, sin embargo, cuando la combustión tiene lugar en el motor la temperatura se eleva mucho y un valor más preciso de k es de 1,3.

- Se supone además, que en el ciclo teórico las fases de introducción y sustracción de calor tienen una duración determinada y que en las otras fases no hay pérdidas de calor.
- Ciclo cerrado
- Proceso de compresión y expansión isoentrópicos
- No hay fricción
- No hay caída de presión

Basados en estas hipótesis, los valores máximos de temperatura y presión y en consecuencia, el trabajo y el rendimiento térmico calculados para el ciclo teórico son más elevados que los correspondientes a los otros tipos de ciclos.

Debido a que el aire es considerado un gas ideal en los ciclos estándares de aire las siguientes relaciones pueden ser utilizadas:

1. Para gases ideales:

$$Pv = RT \quad [4.1]$$

$$PV = mRT \quad [4.2]$$

2. Para procesos isoentrópicos:

$$Pv^k = \text{constante} \quad [4.3]$$

$$Tv^{k-1} = \text{constante} \quad [4.4]$$

$$TP^{\frac{1-k}{k}} = \text{constante} \quad [4.5]$$

3. Trabajo en un sistema cerrado isoentrópico:

$$W_{1-2} = \frac{(P_2v_2 - P_1v_1)}{(1 - k)} \quad [4.6]$$

$$W_{1-2} = R \frac{(T_2 - T_1)}{(1 - k)} \quad [4.7]$$

Dónde:

P = presión del gas en el cilindro

m = masa de gas en el cilindro

V = volumen del cilindro

h = entalpía específica

v = volumen específico del gas

u = energía interna específica

R = constante de los gases del aire

Cp, Cv = Calores específicos

T = temperatura

k = Cp/Cv

w = trabajo específico

Q_{HV} = Poder calorífico del combustible

AF = relación aire-combustible

r_c = relación de compresión

m = flujo másico

W = trabajo para un ciclo

q = transferencia de calor por unidad de masa para un ciclo

η_c = Eficiencia de combustión

Q = transferencia de calor

s = entropía específica

Subíndices utilizados:

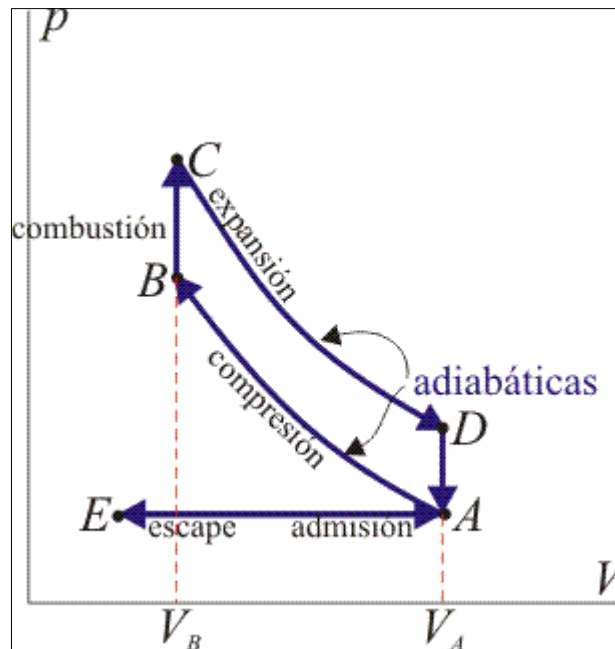
a = aire

ex = gases de escape

f = combustible

m = mezcla de gases

Figura 4.2 Ciclo de Otto diagrama Presión - Temperatura



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_Otto

E – A: Tiempo de admisión – El aire y el combustible mezclados entran por la válvula de admisión. El pistón se desplaza desde el PMS (punto muerto superior) al PMI (punto muerto inferior). La válvula de admisión, **VA** se encuentra abierta. El pistón realiza una carrera completa. El cilindro se llena con mezcla aire/combustible. Al final de la admisión (en el PMI) se cierra la **VA**. El llenado del cilindro requiere un trabajo negativo.

$$P_{atm} = P_E = P_A \quad [4.8]$$

$$W_{E-A} = P_{atm}(v_A - v_E) \quad [4.9]$$

A – B: Tiempo de compresión - La mezcla aire/combustible es comprimida. Con las dos válvulas cerradas (**VA** y válvula de escape, **VE**), el pistón se desplaza desde el PMI al PMS. Se realiza una carrera completa. Se comprime la mezcla aire/combustible. En principio esta compresión es adiabática. La compresión requiere trabajo negativo.

$$T_B = T_A \left(\frac{v_A}{v_B} \right)^{k-1} = T_A \left(\frac{V_A}{V_B} \right)^{k-1} = T_A (r_c)^{k-1} \quad [4.10]$$

$$P_B = P_A \left(\frac{v_A}{v_B} \right)^k = P_A \left(\frac{V_A}{V_B} \right)^k = P_A (r_c)^k \quad [4.11]$$

$$q_{A-B} = 0 \quad [4.12]$$

$$W_{A-B} = \frac{P_B v_B - P_A v_A}{1 - k} = R \frac{T_B - T_A}{1 - k} \quad [4.13]$$

$$W_{A-B} = \mu_A - \mu_B = C_v(T_A - T_B) \quad [4.14]$$

B – C: Tiempo de combustión - El combustible se inflama en teoría el encendido es un instante. Cuando el pistón llega al PMS, se enciende la chispa en la bujía y se quema la mezcla en la cámara de combustión.

$$v_C = v_B \quad [4.15]$$

$$Q_{B-C} = \Delta U - W_{B-C} \quad [4.16]$$

$$W_{B-C} = 0 \quad [4.17]$$

$$\begin{aligned} Q_{B-C} = Q_{in} &= m_f Q_{HV} \eta_c \\ &= m_m c_v (T_C - T_B) \end{aligned} \quad [4.18]$$

$$Q_{B-C} = (m_a + m_f) C_v (T_C - T_B) \quad [4.19]$$

$$Q_{HV} \eta_c = (AF + 1) c_v (T_C - T_B) \quad [4.20]$$

$$\begin{aligned} q_{B-C} = q_{in} &= c_v (T_C - T_B) \\ &= (u_C - u_B) \end{aligned} \quad [4.21]$$

$$T_C = T_{max} \quad [4.22]$$

$$P_C = P_{max} \quad [4.23]$$

C – D: Trabajo - Con las dos válvulas cerradas el pistón se desplaza desde el PMS al PMI. Se realiza una carrera completa. En principio esta evolución es adiabática. La evolución genera trabajo positivo. De hecho es la única evolución del total del ciclo en que se genera trabajo positivo al exterior.

$$q_{C-D} = 0 \quad [4.24]$$

$$T_D = T_C \left(\frac{v_C}{v_D} \right)^{k-1} = T_C \left(\frac{V_C}{V_D} \right)^{k-1} = T_C \left(\frac{1}{r_c} \right)^{k-1} \quad [4.25]$$

$$P_D = P_C \left(\frac{v_C}{v_D} \right)^k = P_C \left(\frac{V_C}{V_D} \right)^k = P_C \left(\frac{1}{r_c} \right)^k \quad [4.26]$$

$$W_{C-D} = \frac{P_D v_D - P_C v_C}{1 - k} = R \frac{T_D - T_C}{1 - k} \quad [4.27]$$

$$W_{C-D} = \mu_C - \mu_D = C_v(T_C - T_D) \quad [4.28]$$

D –A: En teoría esta caída de presión de D –A es instantánea y ocurre cuando se abre la válvula de escape.

$$v_D = v_A \quad [4.29]$$

$$W_{D-A} = 0 \quad [4.30]$$

$$Q_{D-A} = Q_{out} = m_m C_v(T_A - T_D) = m_m c_v(T_A - T_D) \quad [4.31]$$

$$q_{D-A} = q_{out} = C_v(T_A - T_D) = (u_A - u_D) = c_v(T_A - T_D) \quad [4.32]$$

A –E: Escape - Los gases se conducen hacia fuera a través de la válvula de escape. El pistón se desplaza desde el PMI al PMS. Se realiza una carrera completa (la **VE** está abierta y la **VA** se encuentra cerrada). En principio la presión dentro del cilindro es igual a la atmosférica, por lo cual el trabajo requerido es cero.

$$P_A = P_E = P_{atm} \quad [4.33]$$

$$W_{A-E} = P_{atm}(v_E - v_A) \quad [4.34]$$

4.1.2 Eficiencia térmica en el Ciclo de Otto

$$\eta_t = \frac{|W_{net}|}{|q_{in}|} = 1 - \frac{|q_{out}|}{|q_{in}|} \quad [4.35]$$

$$\eta_t = 1 - \frac{C_v(T_D - T_A)}{C_v(T_C - T_B)} = 1 - \frac{(T_D - T_A)}{(T_C - T_B)} \quad [4.36]$$

4.1.3 Ciclo Real Estándar de Aire

El ciclo Teórico Estándar de Aire proporciona una aproximación a las condiciones reales de trabajo, las principales diferencias con el ciclo real son las siguientes (Pulkrabek, 2005):

- Los motores reales operan en un sistema abierto con cambios de composición.
- Durante todo el proceso teórico el fluido es considerado aire en condiciones ideales. En un motor real el fluido es aire con un porcentaje superior al 7% de combustible, el mismo que puede estar en estado gaseoso o en pequeñas partículas líquidas. Después de la combustión se produce una mezcla de gases que en su mayoría son: CO_x , H_2O y N_x y en una pequeña proporción CO y vapores de hidrocarburos. Adicionalmente las altas presiones y temperaturas que tienen lugar en el motor ocasionan que el fluido se aleje del comportamiento de gas ideal.
- Existen pérdidas de calor durante el ciclo del motor real lo cual no se toma en cuenta en el análisis teórico. Las pérdidas de calor durante el ciclo hacen que las temperaturas y presiones sean menores que las esperadas en el ciclo teórico.
- La combustión requiere de un pequeño tiempo para darse, la adición de calor no es instantánea como se asume en el ciclo teórico de aire
- El proceso de purga de los gases requiere de un tiempo determinado y no tiene lugar a volumen constante como lo indica el análisis del ciclo teórico.

Por estas diferencias el análisis del sistema con el ciclo teórico estándar de aire tendrá errores y se desviará del comportamiento real del motor. Sin embargo, los errores no son muy grandes y los valores calculados de temperatura y presión pueden ser representativos de un motor dependiendo de su geometría y las condiciones de operación (Pulkrabek, 2005).

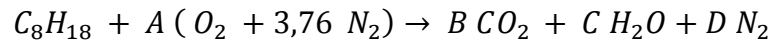
El procedimiento para el cálculo de las propiedades de cada estado en el ciclo real es difícil por lo que se requiere de la ayuda de un software especializado.

4.2 SIMULACIÓN DE LOS EQUILIBRIOS TERMODINÁMICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CON CICLO DE OTTO

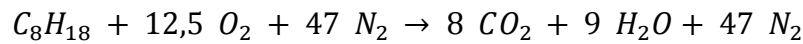
4.2.1 Simulación 1: gasolina 100%

Datos iniciales:

- Se parte de la ecuación:



- Se obtiene:



- Basados en la ecuación anterior se puede calcular la relación en peso aire – combustible (Ejemplo de cálculo anexo D.1) :

$$AF = 15,05$$

- Poder calorífico del combustible

$$Q_{HV(gasolina)} = 43.950 \frac{KJ}{Kg}$$

- Relación de compresión

$$r_c = 10$$

Tabla 4.1 Propiedades termodinámicas del fluido en el motor con 100% gasolina

Simulación 1: 100% Gasolina					
Propiedad	Estado A	Estado B	Estado C	Estado D	Estado E
T (K)			4.452,61	2.993,27	2.047,00
P (Pa)	75.994	1.628.400	13.028.000	849.110	75.994
u (J/kg)	-212.050	63.645	2.801.900	279.600	-1.208.500
v (m ³ /kg)	1,04120	0,10412	0,10412	1,04120	7,83770
h (J/kg)	-132.920	233.190	4.158.400	1.163.700	-612.890
s (J/kg-K)	6.751,0	6.751,0	9.474,4	9.474,4	9.474,4

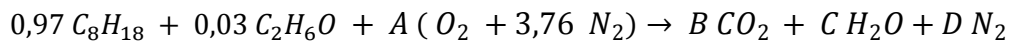
Mediante el simulador STANJAN se obtienen los estados A, B, C, D y E. El estado E es un estado previo antes de que el motor regrese al estado A. En el anexo D están los reportes que se obtienen del simulador para este caso y los tres siguientes.

Tabla 4.2 Resultados de la cantidad de componentes analizados presentes después de la combustión en el motor con 100% gasolina

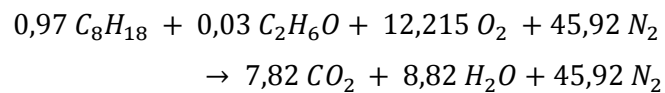
Simulación 1: 100% Gasolina			
Especie	Estado C	Estado D	Estado E
(moles)			
CO	6,17677	2,08242	0,14702
H ₂ O	9,00000	9,00000	9,00000
N ₂	43,91700	45,95990	46,92650
CO ₂	1,82323	5,91758	7,85298
NO	6,15534	2,07818	0,14692
NO ₂	0,0107133	0,0021228	0,0000488
C ₂ H ₂	2,36212E-10	3,94196E-16	1,93035E-23
C ₂ H ₄	2,37290E-14	3,52874E-21	3,82352E-29
CH ₄	3,46525E-09	1,78115E-13	3,48137E-18
C ₆ H ₆	1,60879E-40	1,00107E-56	7,06515E-76

4.2.2 Simulación 2: gasolina 97% y etanol anhidro 3%

- De la ecuación:



- Se obtiene:



- Relación en peso aire – combustible:

$$AF = 14,97$$

- Poder calorífico de la mezcla (Ejemplo de cálculo anexo D.2):

$$Q_{HV(97\% \text{ gasolina} + 3\% \text{ etanol})} = 43.255,2 \frac{KJ}{Kg}$$

Tabla 4.3 Propiedades termodinámicas del fluido en el motor con 97% de gasolina y 3% de etanol

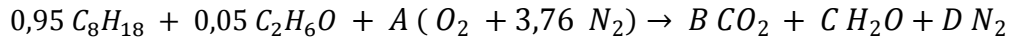
Simulación 2: 97% Gasolina y 3% Etanol					
Propiedad	Estado A	Estado B	Estado C	Estado D	Estado E
T (K)			4.433,80	2.982,96	2.038,30
P (Pa)	75.994	1.628.300	12.969.000	84.5930	75.994
u (J/kg)	-215.080	60.632	2.769.200	256.530	-1.222.800
v (m ³ /kg)	1,04130	0,10413	0,10413	1,04130	7,80500
h (J/kg)	-135.950	230.190	4.119.600	1.137.400	-629.660
s (J/kg-K)	6.752,9	6.752,9	9.469,2	9.469,2	9.469,2

Tabla 4.4 Resultados de la cantidad de componentes analizados presentes después de la combustión en el motor con 97% de gasolina y 3% de etanol

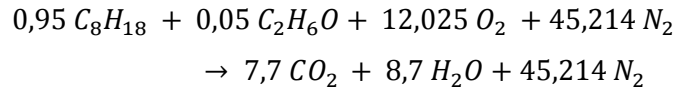
Simulación 2: 97% Gasolina y 3% Etanol			
Especie (moles)	Estado C	Estado D	Estado E
CO	5,99448	1,99379	0,13727
H ₂ O	8,82000	8,82000	8,82000
N ₂	42,92800	44,92410	45,85140
CO ₂	1,82552	5,82621	7,68273
NO	5,97353	1,98973	0,13718
NO ₂	0,0104730	0,0020285	0,0000452
C ₂ H ₂	2,07543E-10	3,43065E-16	1,54741E-23
C ₂ H ₄	2,06104E-14	3,06772E-21	3,09192E-29
CH ₄	3,13689E-09	1,62673E-13	3,06433E-18
C ₆ H ₆	1,21450E-40	7,45947E-57	4,42738E-76

4.2.3 Simulación 3: gasolina 95% y etanol anhidro 5%

- De la ecuación:



- Se obtiene:



- Relación en peso aire – combustible:

$$AF = 14,92$$

- Poder calorífico de la mezcla:

$$Q_{HV(95\% \text{ gasolina} + 5\% \text{ etanol})} = 42.792 \frac{KJ}{Kg}$$

Tabla 4.5 Resultados de las propiedades termodinámicas del fluido en el motor con 95% de gasolina y 5% de etanol

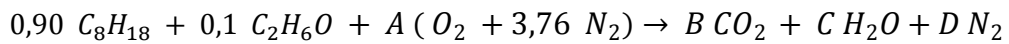
Simulación 3: 95% Gasolina y 5% Etanol					
Propiedad	Estado A	Estado B	Estado C	Estado D	Estado E
T (K)			4.420,17	2.975,34	2.031,84
P (Pa)	75.994	1.628.300	12.925.000	843.560	75.994
u (J/kg)	-217.150	58.579	2.745.700	240.160	-1.232.600
v (m ³ /kg)	1,04140	0,10414	0,10414	1,04140	7,78070
h (J/kg)	-138.010	228.150	4.091.700	1.118.600	-641.350
s (J/kg-K)	6.754,2	6.754,2	9.465,1	9.465,1	9.465,1

Tabla 4.6 Resultados de la cantidad de componentes analizados presentes después de la combustión en el motor con 95% de gasolina y 5% de etanol

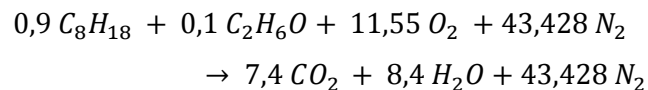
Simulación 3: 95% Gasolina y 5% Etanol			
Especie (moles)	Estado C	Estado D	Estado E
CO	5,87135	1,93325	0,13061
H ₂ O	8,70000	8,70000	8,70000
N ₂	42,28350	44,28840	45,14870
CO ₂	1,82865	5,76675	7,56939
NO	5,85073	1,92932	0,13053
NO ₂	0,0103091	0,0019636	0,0000427
C ₂ H ₂	1,89119E-10	3,09880E-16	1,31321E-23
C ₂ H ₄	1,86236E-14	2,76833E-21	2,64060E-29
CH ₄	2,92121E-09	1,52279E-13	2,78866E-18
C ₆ H ₆	9,90823E-41	6,00199E-57	3,12399E-76

4.2.4 Simulación 4: gasolina 90% y etanol anhidro 10%

- De la ecuación:



- Se obtiene:



- Relación en peso aire – combustible:

$$AF = 14,79$$

- Poder calorífico de la mezcla:

$$Q_{HV(90\% \text{ gasolina} + 10\% \text{ etanol})} = 41.634 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Tabla 4.7 Resultados de las propiedades termodinámicas del fluido en el motor con 90% de gasolina y 10% de etanol

Simulación 4: 90% Gasolina y 10% Etanol					
Propiedad	Estado A	Estado B	Estado C	Estado D	Estado E
T (K)			4.388,48	2.957,54	2.016,77
P (Pa)	75.994	1.628.500	12.827.000	838.170	75.994
u (J/kg)	-222.660	53.123	2.689.900	200.850	-1.256.900
v (m ³ /kg)	1,04150	0,10415	0,10415	1,04150	7,59940
h (J/kg)	-143.510	222.730	4.025.800	1.073.800	-669.870
s (J/kg-K)	6.757,4	6.757,4	9.456,1	9.456,1	9.456,1

Tabla 4.8 Resultados de la cantidad de componentes analizados presentes después de la combustión en el motor con 90% de gasolina y 10% de etanol

Simulación 4: 90% Gasolina y 10% Etanol			
Especie (moles)	Estado C	Estado D	Estado E
CO	5,57074	1,79118	0,11576
H ₂ O	8,40000	8,40000	8,40000
N ₂	40,64760	42,53330	43,37010
CO ₂	1,82926	5,60882	7,28424
NO	5,55094	1,78756	0,11569
NO ₂	0,0098975	0,0018122	0,0000373
C ₂ H ₂	1,51555E-10	2,43152E-16	8,89468E-24
C ₂ H ₄	1,46459E-14	2,16927E-21	1,81644E-29
CH ₄	2,46580E-09	1,30088E-13	2,22804E-18
C ₆ H ₆	6,13345E-41	3,59289E-57	1,37060E-76

4.2.5 Resultados de las simulaciones en el estado E

Tabla 4.9 Resultados de las propiedades del fluido del estado E

Simulación	T (K)	P (Pa)	u (J/kg)	v (m ³ /kg)	h (J/kg)	s (J/kg-K)
1	2.047	75.994	-1.208.500	7,83770	-612.890	9.474,4
2	2.038	75.994	-1.222.800	7,80500	-629.660	9.469,2
3	2.032	75.994	-1.232.600	7,78070	-641.350	9.465,1
4	2.017	75.994	-1.256.900	7,59940	-669.870	9.456,1

Tabla 4.10 Resultados de la cantidad de moles de los compuestos analizados presentes en el estado E

Simulación	CO (moles)	H ₂ O (moles)	N ₂ (moles)	CO ₂ (moles)	NO (moles)	NO ₂ (moles)
1	0,14702	9,00000	46,92650	7,85298	0,14692	0,0000488
2	0,13727	8,82000	45,85140	7,68273	0,13718	0,0000452
3	0,13061	8,70000	45,14870	7,56939	0,13053	0,0000427
4	0,11576	8,40000	43,37010	7,28424	0,11569	0,0000373

Tabla 4.11 Resultados de la cantidad de moles de los compuestos analizados presentes en el estado E

Simulación	C ₂ H ₂ (moles)	C ₂ H ₄ (moles)	CH ₄ (moles)	C ₆ H ₆ (moles)
1	1,93035E-23	3,82352E-29	3,48137E-18	7,06515E-76
2	1,54741E-23	3,09192E-29	3,06433E-18	4,42738E-76
3	1,31321E-23	2,64060E-29	2,78866E-18	3,12399E-76
4	8,89468E-24	1,81644E-29	2,22804E-18	1,37060E-76

Tabla 4.12 Cantidad de CO producido según porcentaje de etanol en la gasolina

Porcentaje Etanol	CO (moles)	% CO	% Reducción
0 %	0,14702	100,00	
3 %	0,13727	93,37	6,63
5 %	0,13061	88,84	11,16
10 %	0,11576	78,74	21,26

Tabla 4.13 Cantidad de CO₂ producido según porcentaje de etanol en la gasolina

Porcentaje Etanol	CO ₂ (moles)	% CO ₂	% Reducción
0 %	7,85298	100,00	
3 %	7,68273	97,83	2,17
5 %	7,56939	96,39	3,61
10 %	7,28424	92,76	7,24

Gráfico 4.1 Porcentajes de CO y CO₂ producido según porcentaje de etanol en la gasolina

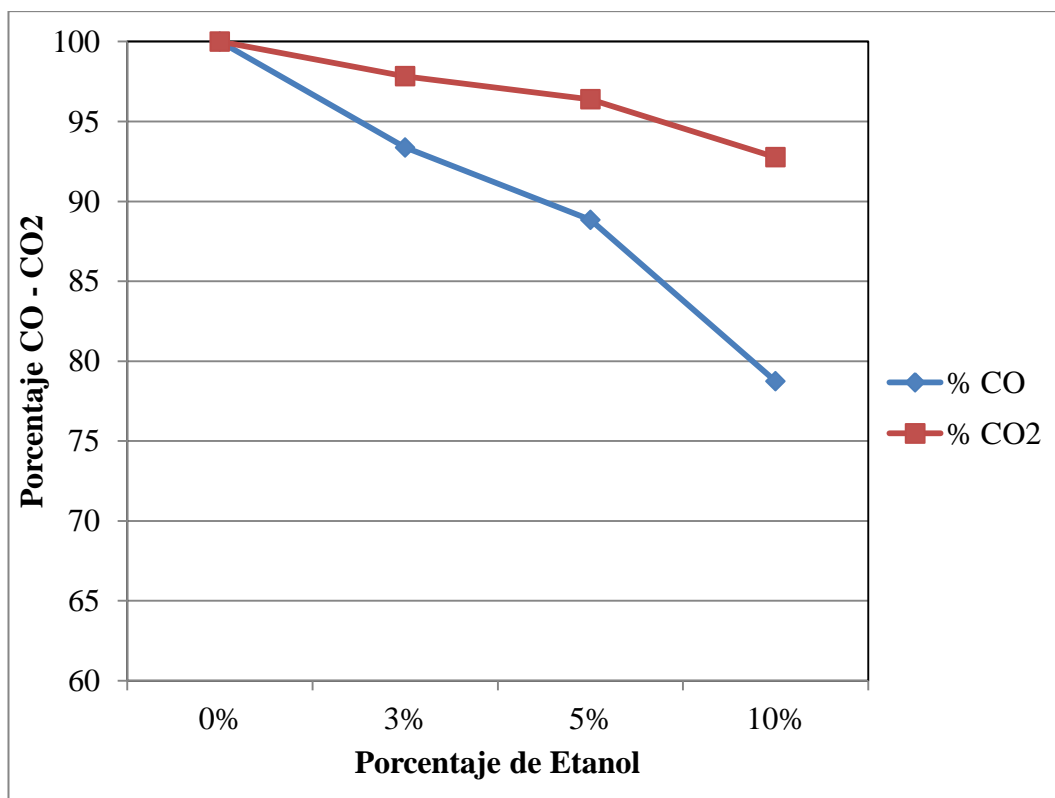


Tabla 4.14 Cantidad de NOx producido según porcentaje de etanol en la gasolina

Porcentaje Etanol	NOx	%NOx	% Reducción
0 %	0,14697	100,00	
3 %	0,13723	93,37	6,63
5 %	0,13057	88,84	11,16
10 %	0,11573	78,74	21,26

Gráfico 4.2 Porcentajes de NOx producido según porcentaje de etanol en la gasolina

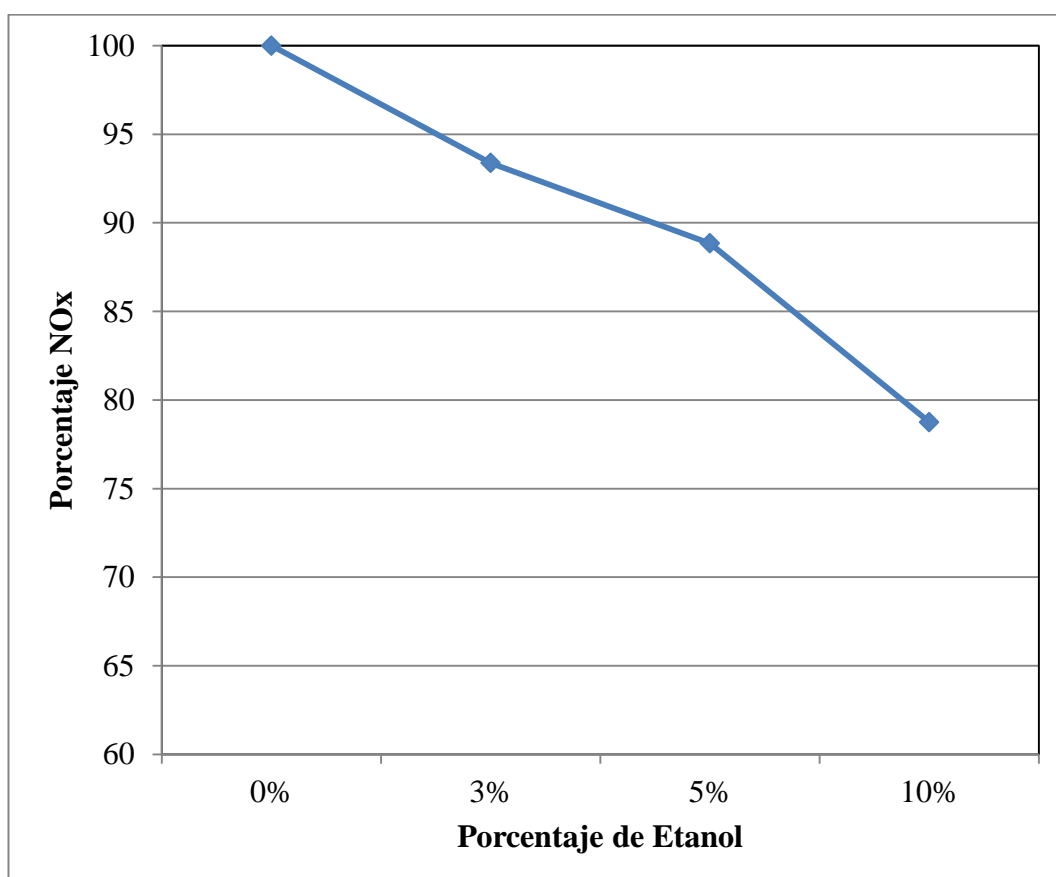
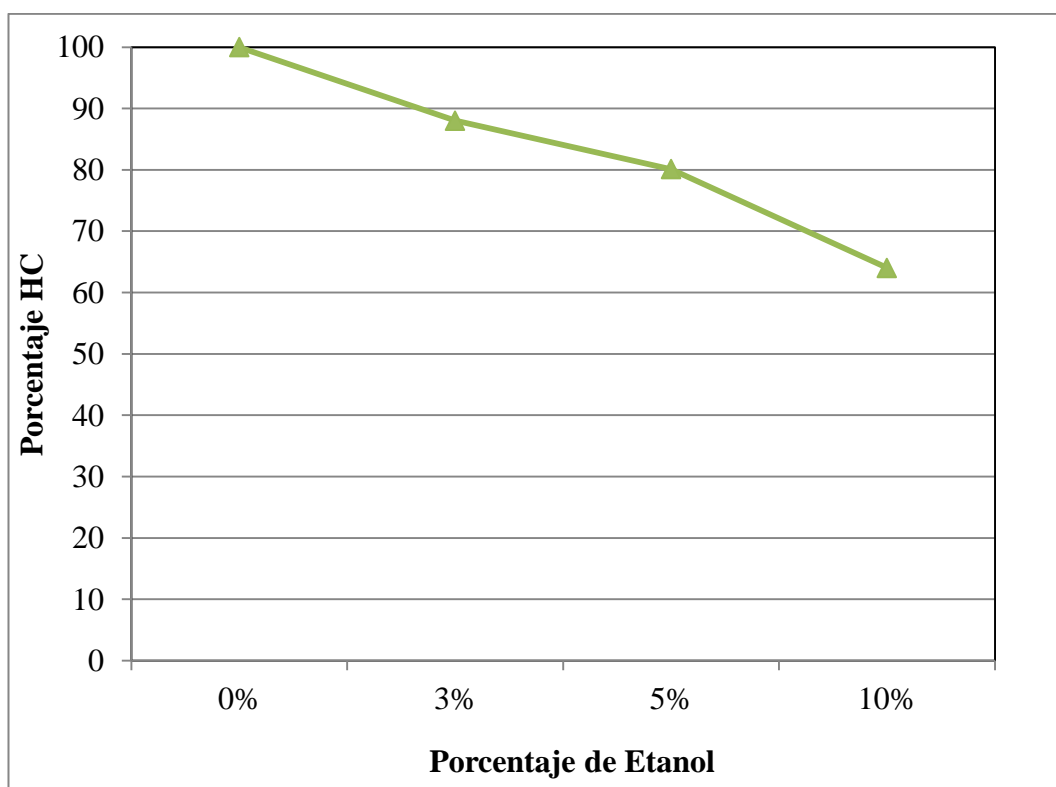


Tabla 4.15 Cantidad de HC producido según porcentaje de etanol en la gasolina

Porcentaje Etanol	HC	% HC	% Reducción
0 %	3,48139E-18	100,00	
3 %	3,06435E-18	88,02	11,98
5 %	2,78867E-18	80,10	19,90
10 %	2,22805E-18	64,00	36,00

Gráfico 4.3 Porcentajes de HC producido según porcentaje de etanol en la gasolina



4.3 EMISIONES DE CO₂, CO, NO_x Y CH₄ DE FUENTES MÓVILES A GASOLINA EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

Basados en el inventario de emisiones atmosféricas de fuentes móviles del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) que el Municipio de Quito ha realizado en los años 2003, 2005, 2007 y 2009 se dispone de información sobre el aporte en las emisiones atmosféricas de los vehículos cuyo combustible es la gasolina. Se consideran para el presente análisis CO₂, CO, NO_x y CH₄ porque estas son las emisiones que coinciden entre las simulaciones realizadas y los estudios que realiza el Municipio de Quito.

El Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (MDMQ), a través de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico (REMMAQ) de la Corporación Municipal para el Mejoramiento del Aire (CORPAIRE) trabaja para hacer conocer a las autoridades competentes y la ciudadanía en general información sobre la calidad del aire ambiental en la ciudad de Quito. La REMMAQ por medio de sus estaciones remotas ubicadas en el área urbana de la ciudad de Quito y los valles aledaños, está en capacidad de medir de manera continua la concentración de contaminantes en el aire. Estos estudios se los realiza cada dos años, sin embargo no existe informe del año 2011.

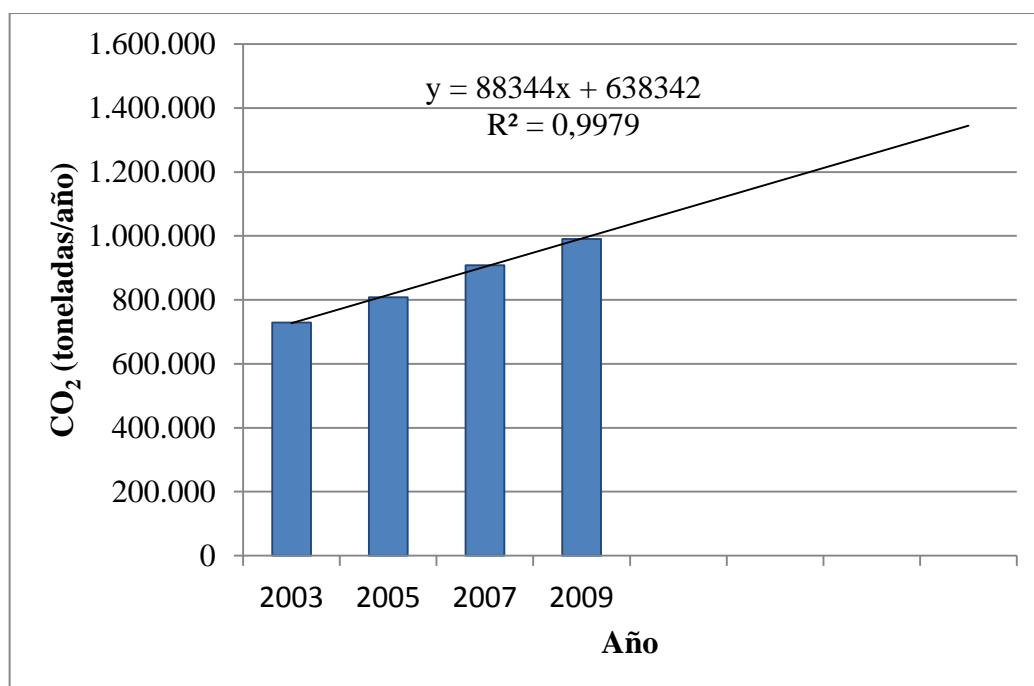
Del total de gasolina extra y gasolina súper que se consume en la provincia de Pichincha desde el 2007 hasta el 2012 el consumo de gasolina extra corresponde al 70%.

Los estudios del Municipio presentan la suma de emisiones contaminantes producidas por las fuentes móviles a gasolina. Para estimar las emisiones de las fuentes móviles que operan con gasolina extra se ha considerado el 70% del total de emisiones de fuentes móviles a gasolina de los inventarios realizados por el Municipio, esta consideración se basa en el porcentaje de gasolina extra que se consume en la provincia de Pichincha respecto al total de gasolina que se distribuye.

4.3.1 Emisiones de CO₂

En el gráfico 4.4 se presentan emisiones de CO₂ de vehículos que operan con gasolina extra y su proyección al 2013. Como se puede observar el aumento de las emisiones de CO₂ proveniente del sector vehicular a gasolina tiene un comportamiento lineal. Este gas es uno de los principales causantes del efecto invernadero en la ciudad de Quito. En este año 2013 se estima que las emisiones de dióxido de carbono alcanzarán la cantidad de 1.168.406 toneladas.

Gráfico 4.4 Emisiones de CO₂ de vehículos a gasolina extra en el DMQ 2003-2009



Fuente: Corpaire “Inventario de emisiones del Distrito Metropolitano de Quito 2003-2009”

Elaboración: Propia

En la tabla 4.16 se presenta las estimaciones de reducción de toneladas de CO₂ por año si se utilizara 3%, 5% y 10% de etanol en toda la gasolina extra que se comercializa en la ciudad de Quito. La base del cálculo de esta tabla es la proyección de que en el año 2013 se van a producir un total de 1.168.406 toneladas de CO₂.

Tabla 4.16 Reducción de emisiones de CO₂ a diferentes concentraciones de etanol en la gasolina basadas en proyecciones de emisiones de CO₂ para el año 2013

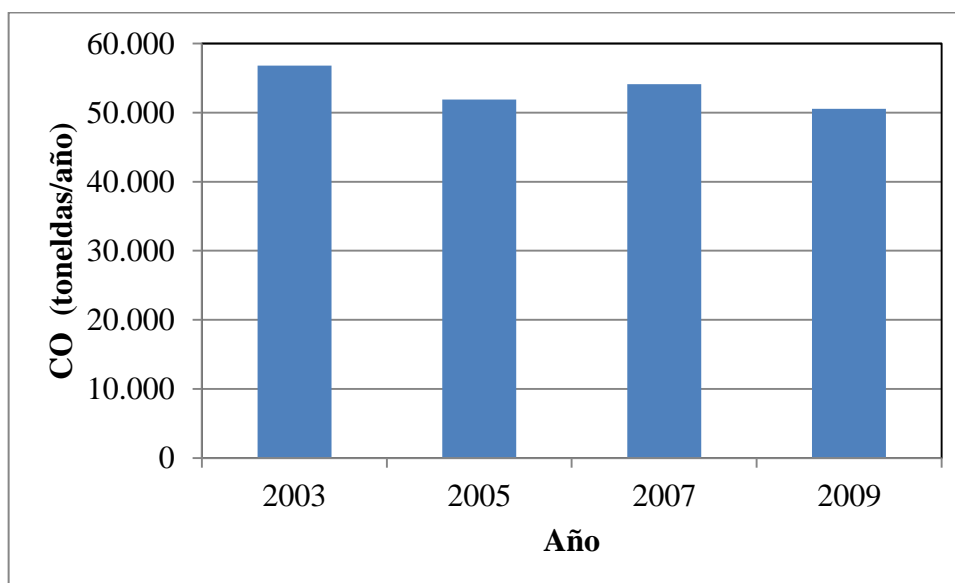
Porcentaje de etanol en la gasolina	Porcentaje de reducción de CO ₂ en las emisiones	Reducción emisiones de CO ₂ (toneladas/año)
3	2,16	25.237,57
5	3,61	42.179,46
10	7,24	84.592,59

Elaboración: Propia

4.3.2 Emisiones de CO

En el gráfico 4.5 se presentan emisiones de CO de vehículos que operan con gasolina extra en los años 2003, 2005, 2007 y 2009. No se observa tendencia definida en los datos. Para estimar los datos de reducción de CO por el uso de etanol en la gasolina de la tabla 4.17 se ha tomado el promedio de los cuatro años que es de 53.351 toneladas de CO emitidas a la atmósfera de Quito por año.

Gráfico 4.5 Emisiones de CO de vehículos a gasolina extra en el DMQ 2003-2009



Fuente: Corpaire “Inventario de emisiones del Distrito Metropolitano de Quito 2003-2009”

Elaboración: Propia

Tabla 4.17 Reducción de emisiones de CO a diferentes concentraciones de etanol en la gasolina basadas en el promedio de emisiones de CO de años anteriores

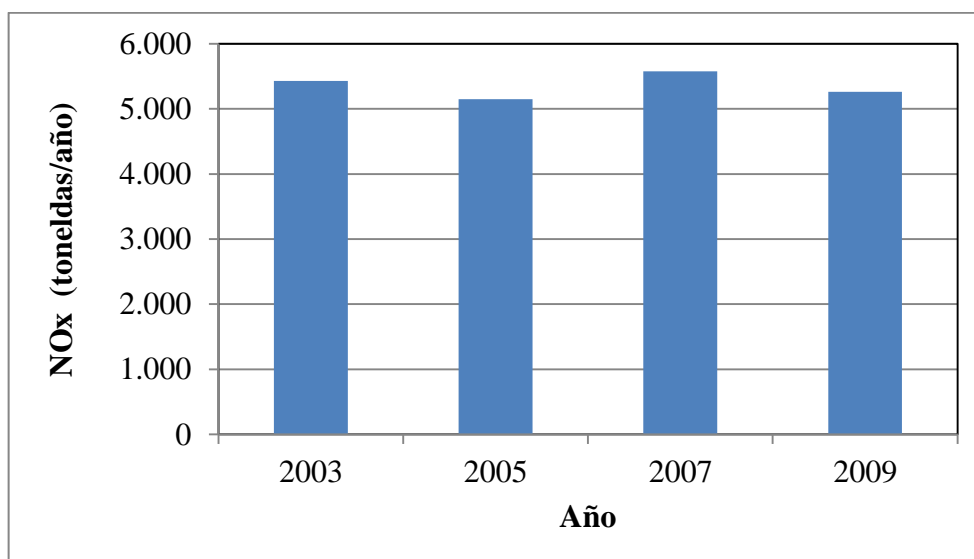
Porcentaje de etanol en la gasolina	Porcentaje de reducción de CO en las emisiones	Reducción emisiones de CO (toneladas/año)
3	6,63	3.537,15
5	11,16	5.953,94
10	21,25	11.337,02

Elaboración: Propia

4.3.3 Emisiones de NOx

En el gráfico 4.6 se presentan emisiones de NOx de vehículos que operan con gasolina extra en los años 2003, 2005, 2007 y 2009. No se observa tendencia definida en los datos. Para estimar los datos de reducción de NOx por el uso de etanol en la gasolina de la tabla 4.18 se ha tomado el promedio de los cuatro años que es de 5.354 toneladas de NOx emitidas a la atmósfera de Quito por año.

Gráfico 4.6 Emisiones de NOx de vehículos a gasolina extra en el DMQ 2003-2009



Fuente: Corpaire "Inventario de emisiones del Distrito Metropolitano de Quito 2003-2009"

Elaboración: Propia

Tabla 4.18 Reducción de emisiones de NOx a diferentes concentraciones de etanol en la gasolina basadas en el promedio de emisiones de NOx de años anteriores

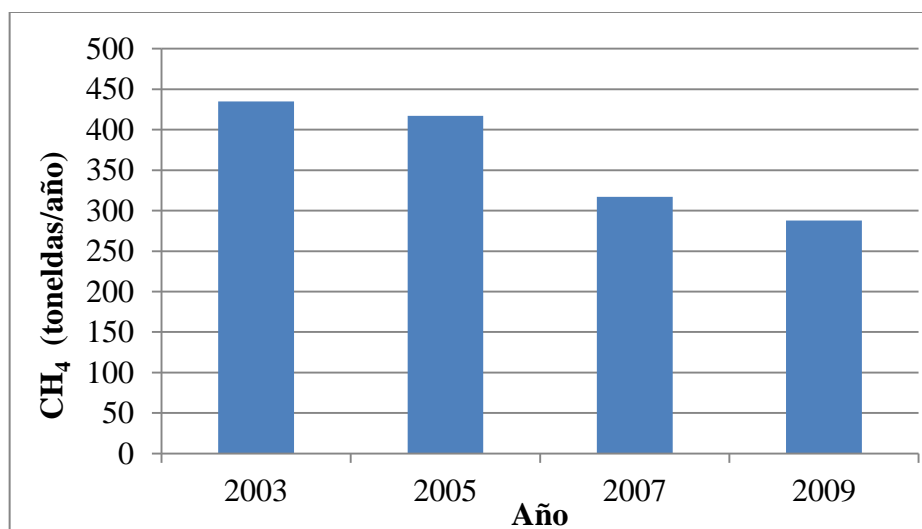
Porcentaje de etanol en la gasolina	Porcentaje de reducción de NOx en las emisiones	Reducción emisiones de NOx (toneladas/año)
3	6,62	354,41
5	11,16	597,46
10	21,25	1.137,64

Elaboración: Propia

4.3.4 Emisiones de CH₄

En el gráfico 4.7 se presentan emisiones de CH₄ de vehículos que operan con gasolina extra en los años 2003, 2005, 2007 y 2009. La tendencia de los datos es decreciente. Para estimar los datos de reducción de CH₄ por el uso de etanol en la gasolina de la tabla 4.19 se ha tomado el promedio de los cuatro años que es de 364 toneladas de CH₄ emitidas a la atmósfera de Quito por año.

Gráfico 4.7 Emisiones de CH₄ de vehículos a gasolina extra en el DMQ 2003-2009



Fuente: Corpaire “Inventario de emisiones del Distrito Metropolitano de Quito 2003-2009”

Elaboración: Propia

Tabla 4.19 Reducción de emisiones de CH₄ a diferentes concentraciones de etanol en la gasolina basadas en el promedio de emisiones de CH₄ de años anteriores

Porcentaje de etanol en la gasolina	Porcentaje de reducción de CH ₄ en las emisiones	Reducción emisiones de CH ₄ (toneladas/año)
3	11,97	43,59
5	19,89	72,44
10	36,00	131,11

Elaboración: Propia

4.4 AUMENTO DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DEBIDO A LA DISMINUCIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LA MEZCLA

Se espera un aumento del consumo del combustible debido a la disminución del poder calorífico de la mezcla gasolina – etanol (Anexo D.2 Ejemplo de cálculo del poder calorífico de la mezcla). A continuación una tabla con los datos donde se puede observar cómo el poder calorífico de la mezcla disminuye con el aumento del porcentaje de etanol.

Tabla 4.20 Disminución del poder calorífico de la mezcla

Porcentaje Etanol	Poder Calorífico (KJ/kg)	Porcentaje Reducción Poder Calorífico
0%	43.950,0	
3%	43.255,2	1,58%
5%	42.792,0	2,63%
10%	41.634,0	5,27%

Elaboración: Propia

Se estima que el porcentaje de aumento de consumo de combustible sea directamente proporcional al porcentaje de reducción del poder calorífico de la mezcla.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- En el Ecuador existe una alta tasa de deforestación, 1,8 % según la FAO. Existe falta de control por parte de entidades del gobierno para detener la tala de bosques. Sin embargo, esto ha producido una gran cantidad de suelos que ya están disponibles para cultivo y que presentan una condición favorable a los criterios de selección de tierras aptas para el cultivo según el estudio realizado por el Ministerio del Ambiente y el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.

El punto crítico está en controlar muy bien el tipo de suelo que se va utilizar en la implementación de proyectos de siembra de caña de azúcar o de palma africana destinada para la obtención de biocombustibles. Estos cultivos se hacen más críticos debido a las grandes extensiones de terreno que hay que utilizar para cumplir con los porcentajes que el gobierno coloca para reemplazo de biocombustibles en la gasolina y en el diésel. Es decir existen terrenos disponibles para cultivo pero hay que controlar que no se tale más bosque primario. Hay un factor que no se menciona en los estudios realizados por el gobierno y es el riesgo de estrés hídrico en los suelos que se concluyen son aptos para la siembra de estos cultivos.

Adicionalmente se debe considerar que si se toman medidas abruptas para el reemplazo de biocombustibles líquidos se acentúa el riesgo de que se provoque tala de bosques o desplazamientos de cultivos tradicionales destinados para la alimentación de la población. Toda ley respecto a biocombustibles líquidos debe aplicarse paulatinamente.

- Todo el proyecto de biocombustibles en el Ecuador debería basarse y proyectarse en la producción local. El límite de crecimiento de este proyecto debería llegar hasta donde pueda llegar la producción local sin comprometer el medio ambiente ni la seguridad alimentaria de la

población. Si estos proyectos no cumplen con las expectativas de estos dos factores mencionados anteriormente se pierden ampliamente las ventajas que presentan. De igual manera si se recurre a la importación de materias primas para la producción de biocombustibles o directamente a la importación de biocombustibles se afecta la balanza comercial del país y resulta en el mismo problema que se tiene actualmente por la importación de derivados del petróleo.

- Tanto la siembra como la producción de etanol requieren de la utilización de cantidades considerables de agua. Sin embargo, se pueden utilizar los avances tecnológicos con el fin de reducir y reutilizar el agua de ambos procesos. En el Ecuador la empresa CODANA ha implementado un sistema de prácticamente cero emisiones de agua contaminada, es decir trata y reutiliza las vinazas que se obtienen de las destilaciones. Esta empresa tiene el Sello Verde que es un reconocimiento que el Ministerio del Ambiente concede a las empresas que han implementado técnicas innovadoras para el cuidado del ambiente.
- El consumo de azúcar por habitante en el Ecuador es alto, equivalente al consumo de azúcar por habitante en Estados Unidos. Este consumo en su mayoría es debida al consumo de bebidas azucaradas que no constituyen un aporte nutricional. La poca cultura nutricional y la propaganda de bebidas gaseosas y no gaseosas azucaradas ocasiona el alto consumo de estos líquidos a todo nivel económico. Es conveniente fomentar la disminución del consumo de estos productos en la población a largo plazo y la materia prima que ya no se utilice para producir azúcar se la destine a la producción de alcohol.

Respecto al riesgo en la seguridad alimentaria por el uso de hasta el 10% de etanol en la gasolina en el Distrito Metropolitano de Quito se concluye que inclusive el reemplazo del 10% de etanol en la gasolina extra no pone en riesgo ni la producción de alcohol ni la producción de azúcar.

Reemplazar este porcentaje de gasolina por etanol significa utilizar el 22,5% de la producción actual de etanol del país.

- La producción de alcohol es una oportunidad para que el sector cañicultor pueda expandir sus actividades. Tanto el pequeño, mediano como grande cañicultor tiene la posibilidad de ya sea asociarse a un ingenio para la entrega de la materia prima o de acogerse al programa del gobierno por medio del cual se entrega el destilado de baja calidad que se produce artesanalmente a las grandes destilerías quienes lo procesan para obtener un alcohol etílico con la calidad necesaria para uso como carburante.
- El Ecuador presenta características favorables para el cultivo de caña tales como: clima adecuado, disponibilidad de considerable cantidad de agua para cultivos, mano de obra disponible, experiencia en el cultivo. Así también la deficiencia en la producción de nafta de alto octano y los subsidios del gobierno a los combustibles constituyen razones favorables al cultivo de caña y posterior producción de etanol.
- Hay un crecimiento mundial del cultivo de caña de azúcar que se deben básicamente a tres razones: crecimiento de la población mundial por tanto del consumo de azúcar, aumento per cápita del consumo de azúcar por cambios en la dieta y por el interés de muchos países en utilizar el alcohol como carburante. La única zona que tiene un crecimiento del cultivo acelerado es América del Sur que en una década ha incrementado su superficie de cultivo en un 100%, esto se debe en un 90% al aporte de Brasil que aunque no tiene los mejores rendimientos en el cultivo aporta con grandes extensiones de terreno cultivadas y un conjunto de industrias con tecnología de punta que convierten el jugo de caña en etanol.
- El Ecuador ha incrementado el 11,7% el área de cultivo en la última década. Según la FAO el país ocupa el lugar 16 del ranking de rendimiento a nivel mundial. Las empresas privadas hacen un esfuerzo por mejorar el

rendimiento, por esta razón existe el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador (CINCAE) que con personal nacional especializado trabajan en el manejo de plagas, enfermedades, variedades de caña y manejo de fertilizantes. Desde el 2001 hasta el 2011 el rendimiento de los cultivos se ha incrementado en un 30%.

- Brasil domina el mercado mundial del azúcar debido a la gran cantidad de tierras cultivadas con caña y a su capacidad de producir a bajo costo. El azúcar es un producto propio de los países en desarrollo que presentan ventajas para cultivos extensivos y mano de obra barata. En el hemisferio occidental Brasil acompañado de algunos países de América del Sur y Central seguirán siendo los mayores proveedores de azúcar cruda y refinada a países desarrollados y países con climas desfavorables para el cultivo de la caña.
- En el Ecuador la demanda de azúcar se cubre sin problemas con las actuales industrias. A menos que haya imprevistos climatológicos que afecten los cultivos hay un excedente de azúcar que se lo puede exportar o procesar una parte de la caña de azúcar para obtener etanol. A la producción ya existente se suman los dos nuevos ingenios ubicados en la Provincia del Guayas que aportarían alrededor de un 7,5% del total de hectáreas cultivadas de caña de azúcar.
- Debido a la aplicación de políticas nacionales de uso obligatorio en diferentes países se ha implementado el uso de biocombustibles líquidos. En el caso del etanol los principales consumidores son Estados Unidos y Brasil, que también son los principales productores, difieren en la materia prima de la cual obtienen el etanol. Brasil procesa la caña de azúcar y Estados Unidos procesa el maíz.

Obtener alcohol de maíz implica mayores costos que obtenerlo de la caña. El gobierno de Estados Unidos subsidia toda la cadena de producción de etanol a partir del maíz para que los precios del etanol sean competitivos.

Sin embargo a mediano plazo como lo demuestran las proyecciones la producción de etanol a partir de maíz no va a presentar crecimiento, en el caso del etanol a partir de la caña va a crecer sostenidamente.

También se van introducir en el futuro biocombustibles de segunda generación producidos con biomasa lignocelulósica, material de desecho u otras materias primas no alimentarias. Esta transición depende de los adelantos de la investigación durante los próximos años y de las políticas de biocombustibles en los gobiernos para la producción de biocombustibles de segunda generación.

- Debido a la demanda en aumento de etanol a nivel mundial los precios de este tipo de alcohol se han incrementado desde el 2000 hasta el 2012 en un 110%. El precio actual (2013) es de 55,29 dólares los 100 litros de etanol lo cual implica que cada galón tiene un precio de 2,09 dólares el galón.

El precio de cada barril importado de nafta de alto octano es de 143,91 dólares según estadísticas del Banco Central del año 2012 (no incluye valor del IVA, gastos operacionales, pago de tributos por nacionalización del producto en Aduanas, valor pago CORPEI, y costo de seguro que son aproximadamente del 14,5%) esto significa que cada galón de NAO tiene un costo para el país de 3,42 dólares.

Consumir etanol como carburante en el Ecuador implica un ahorro de 1,33 dólares por galón para el gobierno nacional. Además la ventaja económica de que el dinero no se destina a importaciones sino a promover la economía ecuatoriana a través de la cadena de producción del etanol.

A continuación una tabla con el ahorro anual que se podría tener por el uso de alcohol etílico a diferentes concentraciones en la ciudad de Quito.

Tabla 5.1 Disminución en el pago de importaciones por uso de etanol en la gasolina extra en Quito

Porcentaje de etanol en la gasolina	Volumen anual en galones de etanol	Disminución de pago de importaciones en dólares
3%	4.137.503	5.502.879
5%	6.895.839	9.171.466
10%	13.791.678	18.342.932

- Ecuador produce diariamente alrededor de 171.000 litros de etanol que son 134.919 kilogramos diarios, esto nos da una cifra de 49.245 toneladas de etanol producidas anualmente. Las exportaciones de etanol según el gráfico 2.21 han crecido continuamente hasta alcanzar las 27.000 toneladas en el año 2012, sin embargo ese mismo año se importaron 20.000 toneladas. Desde el año 2010, año en el cual inició el plan piloto de uso de etanol en la gasolina, prácticamente iniciaron las importaciones de etanol al Ecuador, años atrás no se registran cifras que representen un aporte significativo a la balanza comercial.

Casi la totalidad de las exportaciones son a Colombia y prácticamente todas las importaciones vienen de Perú. Son dos factores los que ocasionan esto: la ubicación geográfica de los usuarios y los beneficios económicos de comercializar tanto con la moneda colombiana como con la moneda peruana.

Si consideramos las cifras de producción, importación y exportación de etanol previas al inicio del plan piloto en Guayaquil, se puede deducir fácilmente que el Ecuador tenía un excedente de alcohol etílico de alrededor del 35% de su producción.

- El precio de la gasolina súper (\$2,00/galón) y la gasolina extra (\$1,46/galón) en el Ecuador es inferior en comparación a sus países vecinos Colombia (\$4,85/galón) y Perú (\$6,17/galón). El gobierno

ecuatoriano subsidia los combustibles desde el año 2003 debido a un repentino aumento en el precio internacional del petróleo. El subsidio a las naftas de alto octano, utilizadas para producir gasolinas extra y súper costaron 1.282,14 millones de dólares al estado ecuatoriano en el año 2012.

Con la gasolina extra al precio actual de 1,46 dólares el galón al consumidor, el precio de la gasolina extra con etanol sería básicamente el mismo ya que el gobierno asumiría el excedente del precio tal como lo hace en el plan piloto en Guayaquil. En el caso de que se retire el subsidio a la gasolina, la gasolina con etanol debería tener un costo ligeramente inferior que la gasolina extra convencional.

- La logística para el traslado del etanol desde las destiladoras hasta la ciudad de Quito se los debe realizar en tanqueros exclusivos destinados para este fin. Si se reemplaza el 3% de la gasolina con etanol se requiere de 8 tanqueros semanales de etanol anhidro de 10.000 galones cada uno, para el reemplazo del 5 % de la gasolina se requiere 14 tanqueros de etanol semanales y para el 10% de reemplazo se requieren 27 tanqueros de etanol semanalmente.

Mezclar la gasolina extra con un porcentaje de etanol anhidro en la Terminal de Despacho El Beaterio de Petroecuador en el sur de Quito implica la construcción de un sistema de almacenamiento, transporte dentro de la terminal e inyección en la tubería de transporte de gasolina. Esta es una inversión que Petroecuador debería realizar previo al inicio del proyecto. Las gasolineras no deberían realizar ninguna inversión ya que se parte del criterio de que se coloque el etanol a toda la gasolina extra que se distribuye en la ciudad.

- La Constitución Política de la República del Ecuador brinda los lineamientos para que se desarrollen proyectos del tipo de los biocombustibles líquidos. El Plan Nacional para el Buen Vivir establece

estrategias generales, y prioridades dentro de las cuales los biocombustibles son un punto importante. Adicionalmente en varias Políticas y Agendas Sectoriales y en varios Decretos Presidenciales se ha dado los lineamientos y plazos para su desarrollo e implementación.

Es decir que hay la voluntad política y las herramientas necesarias para promover y ejecutar la expansión del proyecto de uso de etanol en la gasolina.

- En el capítulo 4 se realizaron las simulaciones del funcionamiento de los motores con ciclo de Otto reemplazando 3%, 5% y 10% de etanol en la gasolina. Se observa en las tablas y en los gráficos disminuciones significativas de las emisiones. Se tienen reducciones más significativas cuando se trabaja con el 10% de etanol en la gasolina. Posteriormente se calcula que cantidad de toneladas de CO₂, CO, NO_x y CH₄ que se podría haber reducido en la ciudad de Quito en el año 2013 basándose en proyecciones del consumo de gasolina extra y se tienen los siguientes resultados:

Tabla 5.2 Reducción de emisiones si se utilizara etanol en la gasolina extra en el Distrito Metropolitano de Quito

Porcentaje de etanol en la gasolina	CO ₂	CO	NO _x	CH ₄
	(toneladas/año)			
3 %	25.237,57	3.537,15	354,41	43,59
5 %	42.179,46	5.953,94	597,46	72,44
10 %	84.592,59	11.337,02	1.137,64	131,11

- El uso de etanol en la gasolina es factible en el Distrito Metropolitano de Quito. Se dispone de la materia prima y las plantas de procesamiento. La logística de transporte y distribución no presentan alta complejidad y ya se las maneja en la ciudad de Guayaquil. Desde el punto de vista económico

y ambiental presentan las ventajas que ya se han analizado en detalle anteriormente.

5.2 RECOMENDACIONES

- La entidad del gobierno encargada de la comercialización de biocombustibles debe restringir la compra de alcohol y biodiesel a las empresas que no cumplan con los requerimientos ambientales para todo el ciclo de producción que inicia en la selección del tipo de suelo que va a ser utilizado para la siembra hasta la optimización de los procesos de producción con el fin de generar la menor cantidad de emisiones posibles.
- El gobierno ecuatoriano tiene como política pública el uso de Biocombustibles líquidos como una medida para reducir las importaciones de naftas de alto octano y mejorar la calidad de vida de los agricultores. Como consecuencia de este cambio parcial en el combustible líquido, la gasolina en este caso, se tiene una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero al ambiente.

Para poder llevar adelante un programa de eficiencia energética en el sector transporte se debería combinar con otras medidas como introducción de transporte que utilice energía de fuentes renovables como electricidad proveniente de hidroeléctricas o automóviles que utilicen gas natural en la medida que el país disponga de estos recursos.

Una nueva opción para eficiencia energética que ya está disponible a escala comercial es la nano tecnología, se la podría utilizar como aditivos a los combustibles, especialmente al diésel, y también como dispositivos de captación y almacenamiento de carbono.

- El E10 (gasolina con 10% de etanol) es utilizado en Colombia desde 2005 en forma obligatoria para las ciudades con más de 500.000 habitantes (Wikipedia, gasohol). Debido a la similitud entre Quito y Bogotá en cuanto a la altura de la ciudad como en las temperaturas ambientales se debe tener en cuenta a esta ciudad colombiana como una referencia a seguir.

- Se debe promover la investigación de biocombustibles de segunda y tercera generación en las Universidades, Escuelas Politécnicas e instituciones del estado dedicadas a estos fines. Si bien el país ha iniciado ya el uso de biocombustibles de primera generación el objetivo es continuar con el desarrollo y la diversificación de la matriz energética.
- Se debe hacer un estudio en motores de prueba sobre la variación que se tenga en las emisiones por el uso de diferentes porcentajes de etanol en la gasolina en las condiciones de Quito para obtener datos a escala piloto. Luego de este estudio se debe escalar a una flota de automóviles que utilicen el etanol en diferentes proporciones en para tener una muestra real del conjunto de automotores a gasolina de la ciudad de Quito.

GLOSARIO

Gasolina Extra: Gasolina de 87 octanos

Gasolina Súper: Gasolina de 92 octanos

Gasolina Eco – país: Mezcla de gasolina extra con 5% de etanol anhidro

Nafta de Alto Octano: Término que se utiliza en el Ecuador para identificar a la gasolina que se encuentra en un rango de octanaje desde 92 a 95 octanos y con bajo contenido de azufre. En su mayoría proviene de la importación.

Nafta Base: Término que se utiliza en el Ecuador para identificar a la gasolina que se encuentra en un rango de octanaje desde 62 a 65 octanos y con alto contenido de azufre. Es producida en las refinerías del país.

Gases de efecto invernadero: Se denominan gases de efecto invernadero (GEI) a aquellos cuya presencia en la atmósfera contribuye al efecto invernadero, éste es un fenómeno por el cual estos gases retienen parte de la energía que la superficie planetaria emite por haber sido calentada por la radiación estelar. Algunos de los GEI están presentes en la atmósfera de forma natural y también son producidos por actividades humanas. Otros gases de efecto invernadero y emitidos únicamente por las actividades humanas como los Gases Fluorados. Los principales gases implicados en el efecto invernadero son: Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido de Nitrógeno (N₂O) y Gases Fluorados

MAGAP: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.

MCPEC: Ministerio Coordinador de la Productividad, Empleo y Competitividad

MIPRO: Ministerio de Industrias y Productividad

INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations

CINCAE: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador

FENAZUCAR: Federación Nacional de Azucareros del Ecuador

OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

CONSEP: Consejo Nacional De Control De Sustancias. Estupefacientes Y Psicotrópicas

SENPLADES: Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo

DMQ: El Distrito Metropolitano de Quito la jurisdicción formada sobre la base del Municipio de la capital de la República. La ciudad de San Francisco de Quito y sus localidades cercanas forman el Distrito Metropolitano de Quito se divide en 8 administraciones zonales, las cuales contienen a 32 parroquias urbanas y 33 parroquias rurales y suburbanas. Las parroquias urbanas están divididas en barrios.

REMMAQ: La Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito tiene como finalidad producir datos confiables sobre la concentración de contaminantes atmosféricos en el territorio del Distrito Metropolitano de Quito que sirvan como insumo para la planificación, formulación, ejecución y evaluación de políticas y acciones orientadas al mejoramiento de la calidad del aire.

CORPAIRE: Corporación Municipal para el Mejoramiento del Aire. Es una dependencia del Municipio de Quito que se encarga del proceso de revisión técnica vehicular en la ciudad de Quito y de la generación de información sobre las emisiones y calidad de aire en la ciudad.

BIBLIOGRAFÍA

1. DUFOUR, Javier. La Unión Europea publica un estudio sobre el impacto de la Directiva Europea sobre biocombustibles en el medioambiente y el mercado global. EN: Energía y Sostenibilidad, Mayo, 2010. [Fecha de consulta: 11 de Noviembre del 2012] Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2010/05/06/130852>
2. CORTÉS, Elkin y CIRO, Héctor y MORENO, Edilson. Biocombustibles: Búsqueda de Alternativas. EN: Medicina Veterinaria y Zootecnia, 6(2): 118-123. Julio – Diciembre, 2011. [Fecha de consulta: 08 de Diciembre del 2012] Disponible en: http://dialnet.unirioja.es/servlet/fichero_articulo?codigo=3819210
3. ESPINOZA, Eugenia. Zafra 2012 prevé un aumento de 3% al 5% en la producción de caña. EN: El Agro, Enero, 2013. [Fecha de consulta: 24 de Enero del 2013]. Disponible en: <http://www.revistaelagro.com/2012/08/20/zafra-2012-preve-aumento-de-3-a-5-en-produccion-de-cana/>
4. Redacción Economía, La gasolina Eco-país significará un ahorro de \$ 9,6 millones. El Telégrafo, Octubre, 2012. [Fecha de consulta: 24 de Mayo del 2013]. Disponible en: <http://www.telegrafo.com.ec/economia/item/la-gasolina-ecopais-significara-un-ahorro-de-96-millones.html>
5. COELLO, Javier y CASTRO, Paula. Biocombustibles, agua y agricultura en los Andes. Revista Virtual REDESMA. Enero, 2008. Bogota, Colombia. [Fecha de consulta: 28 de Enero del 2013]. Disponible en: <http://revistavirtual.redesma.org/vol4/articulo6.php?id=c1>

6. CARRANZA, Yamid y ROMERO, Carlos. Estudio teórico comparativo de características termodinámicas del desempeño de un motor de combustión operando con gasolina y con gas natural. EN: Scientia et Technica, No 41, Mayo, 2009. Universidad Tecnológica de Pereira. Disponible en:
<http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=6.%09Carranza%2C+Yamid%3B+Romero%2C+Carlos.+Estudio+te%C3%B3rico+comparativo+de+caracter%C3%ADsticas+termodin%C3%A1micas+del+desempe%C3%B1o+de+un+motor+de+combusti%C3%B3n+operando+con+gasolina+y+con+gas+natural.+EN%3A+Scientia+et+Technica&source=web&cd=1&ved=0CCoQFjAA&url=http%3A%2F%2Frevistas.utp.edu.co%2Findex.php%2Frevistaciencia%2Farticle%2Fdownload%2F2863%2F1625&ei=8PnMUZ6BBZDu8ASr1oGIDQ&usg=AFQjCNFJ33pURskSkEk055C3W8JoR1vOXw&bvm=bv.48572450,d.eWU>
7. LANAS Medina, Vanessa. Análisis de los impactos socio-económicos y ambientales del uso de etanol anhidro como aditivo de la gasolina, en el marco del desarrollo de los biocombustibles y las energías renovables en el Ecuador. Trabajo de Grado. Ingeniero Ambiental. Universidad San Francisco de Quito. Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales. Quito. EC, 2007. 125 p.
8. CHALÁ, Franklin y ÑACATO, Jaime. Estudio comparativo del uso de biocombustible y gasolina en motores de ciclo Otto. Trabajo de Grado. Ingeniero Mecánico. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Mecánica. Quito. EC. 2008. 128 p.
9. MARTÍNEZ, Javier. Auditoría de los procesos de producción de azúcar en la provincia del Guayas con el objetivo de sugerir estándares de control. Trabajo de grado. Auditor en Control de Gestión. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Instituto de Ciencias Matemáticas. Guayaquil, Ecuador. 2004. 141 p. [Fecha de consulta: 20 de Enero del 2013].

Disponible en:
<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/4167/1/6695.pdf>

10. WILKINSON, Tim. Biofuels–Cure or Curse. The 6th International Symposium on Fuels and Lubricants. 2008. UK. 11 p.
11. YÉPEZ, Julio. Funcionamiento de un motor de cuatro tiempos encendido por chispa, con mezcla alcohol – gasolina. Trabajo de grado. Ingeniero Mecánico. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Departamento de Ingeniería Mecánica. Guayaquil, Ecuador. 1988. 255 p. . [Fecha de consulta: 25 de Septiembre del 2012]. Disponible en: www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D_Tesis_PDF/D-8935.pdf
12. CEDEÑO, Nilo y LEÓN, Johann y CEDEÑO, Jean. Modelo de estimación de precio para un combustible de composición 95% gasolina extra y 5% etanol, que ayude a disminuir la contaminación ambiental en la ciudad de Guayaquil. Trabajo de grado. Economista. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Economía y Negocios. Guayaquil, Ecuador. 2010. 84 p. [Fecha de consulta: 25 de Septiembre del 2012]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10258/1/Tesis%20-%20Modelo%20de%20Estimaci%C3%B3n%20de%20Precio%20para%20combustible%2095%25%20extra%20y%205%25%20etanol.pdf>
13. Banco Interamericano de Desarrollo (BID) –Ministerio de Minas y Energía. Evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de biocombustibles en Colombia. Medellin, Colombia. Enero, 2012. 436 p.
14. ZAH, Rainer, et all. Life Cycle Assessment of Energy Products: Environmental Assessment of Biofuels. Executive Summary. Bern, Switzerland. May, 2007. 20 p. [Fecha de consulta: 29 de Diciembre del 2012] Disponible en: <http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=zah%20r.%2C%20b%C3%B6ni%20h.%2C%20gauch%20m.%2C%20hischier%20r.%2C%20lehman>

n%20m.%2C%20w%C3%A4ger%20p.%202007.%20life%20cycle%20assessment%20of%20energy%20products%3A%20environmental%20assessment&source=web&cd=2&cad=rja&ved=0CC8QFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.bfe.admin.ch%2Fphp%2Fmodules%2Fpublikationen%2Fstream.php%3Fextlang%3Den%26name%3Den_667574407.pdf&ei=J6bfUI-0BK3h0wG6oYDgDw&usg=AFQjCNGnCL6zNdsY6ryPxBsdiuRpG1g3bw&bvm=bv.1355534169,d.dmQ

15. Naciones Unidas – Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Istmo Centroamericano: Fomento y Modernización del Sector Agroexportador. Los casos: El azúcar, el Banano y el Café. México. Mayo, 2000. 152 p. [Fecha de consulta: 3 de Febrero del 2013] Disponible en: <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/7/9597/1429.pdf>
16. Dirección de Estadísticas y Estudios para la Industria, Subsecretaría de Productividad, MIPRO. La Caña de Azúcar. Estudio Agroindustrial en el Ecuador. Ecuador. 2010. 98 p.
17. GOMELSKY, Roberto. Propuesta de Política y Estrategia Nacional de Biocombustibles para el Ecuador. Proyecto de Red Productiva, USAID. Ecuador. 2010. 160 p.
18. SAULINO, Florencia. Implicaciones del desarrollo de los biocombustibles para la gestión y el aprovechamiento del agua. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Naciones Unidas. Chile. 2011. 67 p.
19. BENITES, Pedro. Auditoría Ambiental de Cumplimiento para CODANA [en línea]. Milagro, Ecuador. Febrero 2012. Fecha de Consulta: 22 Mayo 2012. Disponible en: <http://www.codana.com/>
20. GÓMEZ, José Javier y SAMANIEGO, José Luis y ANTONISSEN, Mariana. Consideraciones Ambientales en torno a los Biocombustibles

Líquidos. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Naciones Unidas. Chile. 2008. 52 p.

21. COX, Gary y ASTUDILLO, Juana y TOBALINA, Constantino. Proyecto de implementación de una planta productora de etanol en base a la caña de azúcar, en la península de Santa Elena, Provincia del Guayas [en línea]. Guayaquil, Ecuador. 2009. Fecha de Consulta: 22 Mayo 2012. Disponible en:
<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/1463/1/2937.pdf>
22. CONSEP (Consejo Nacional de Control de Sustancias Estupefacientes y Psicotrópicas). Estudio sobre el manejo del alcohol etílico en el Ecuador. Fecha de Consulta: 25 Marzo 2013. Disponible en:
http://www.consep.gob.ec/?cod_categoria=11&cod_sub=142
23. Anuario PNUMA 2010 (Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente). Nairobi, Kenya. 72 p. Fecha de Consulta: 25 Marzo 2013. Disponible en:
www.unep.org/yearbook/2010/PDF/UNEP_ES_2010_low.pdf
24. Anuario PNUMA 2012 (Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente). Nairobi, Kenya. 72 p. Fecha de Consulta: 27 Junio 2013. Disponible en:
http://www.unep.org/yearbook/2012/pdfs/UYB_2012_FULLREPORT_spanish.pdf
25. Istmo centroamericano: Fomento y Modernización del sector agroexportador; Los casos del azúcar, el banano y el café. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Naciones Unidas. México. 2000. 152 p. Fecha de Consulta: 25 Marzo 2013. Disponible en:
www.eclac.org/publicaciones/xml/7/9597/1429.pdf

26. MORENO, Alonso y RODRIGUEZ, David y OTERO, Wilson. Mejora de las políticas de apoyo para el desarrollo sostenible de las montañas. Global Mountain Program. Ecuador. 2007. 114 p. Fecha de Consulta: 30 Marzo 2013. Disponible en: www.fao.org/sard/common/ecg/.../en/SARDMInformeEcuadorFinal.pdf
27. Perspectivas Agrícolas 2011-2020. Organización para la cooperación y el desarrollo económico, Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. Estados Unidos. 2011. 227 p. Fecha de Consulta: 25 Marzo 2013. Disponible en: 132.248.45.5/lecturas/inae2/u311.pdf
28. Proyecto “Programa Nacional de Agroenergía”. Subsecretaría Agrícola, Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. Ecuador. Febrero, 2012. 53 p.
29. Estrategia nacional de cambio climático. Ministerio del Ambiente. Ecuador. 2012. 158 p.
30. Reporte estadístico del sector agropecuario. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Ecuador. 2011. 49 p.
31. U.S. Department of Transportation. Transportation’s Role in Reducing U.S. Greenhouse Gas Emissions. Volume 1. Abril. 2010. Estados Unidos. 605 p. Fecha de Consulta: 24 Agosto 2012. Disponible en: http://ntl.bts.gov/lib/32000/32700/32779/DOT_Climate_Change_Report_-_April_2010_-_Volume_1_and_2.pdf
32. Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. Ministerio del Ambiente. Ecuador. 2011. 263 p.
33. Congreso internacional anual de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica, (Congreso 14, 2008 Puebla, México). Estudio de los efectos

reductivos de emisiones gaseosas como: HC, CO, CO₂, O₂ Y NO_x durante la combustión gasolina-etanol en un motor de combustión interna. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León y Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica, Universidad de Guanajuato. Puebla. 2008. 7 p.

34. ALKINSON, Bernard y MAVITUNA, Ferda. Bichemical Engineering and Biotechnology hadbook. 2da Edición. Mstockton Press, México, 1991. 1 170 p.
35. AUSTIN, George. Manual de Procesos Químicos en la Industria. 5ta Edición. Editorial McGraw-Hill Inc, USA, 1989. 925 p.
36. GUTA, Ram y DEMIRBAS, Ayham. Gasoline, Diesel and Ethanol Biofuels from Grasses and Plants . Editorial Cambridge, New York.
37. LEA, Andrew y PIGGOTT, John. Fermented Beverage Production. 2da Edición. Plenum Plublishers, New York, 2003. 423 p.
38. LEE, Byong. Fundamento de la biotecnología de los alimentos. Editorial Acribia S.A., Zaragoza, 2000, 229 p.
39. Subsecretaría de industrias-Ministerio de Industrias y Productividad. Sector alcoholero. Ecuador. Diciembre, 2011. 15 p.
40. VÁZQUEZ, Hilda y DACOSTA, Oscar. Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. En: Ingeniería Investigación y Tecnología, 3(4), 249-259, mayo 2007.
41. Comisión Económica para América Latina y el Caribe-Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo- Florencia Saulino. Implicaciones

del desarrollo de los biocombustibles para la gestión y el aprovechamiento del agua. Santiago de Chile. Noviembre 2011. 66 p.

42. Instituto Nacional de Energía Agropecuaria (INTA). Compendio de la producción de bioenergía a partir de las algas. Septiembre 2008. 11 p.
43. DÍAS, Marina O.S., JUNQUEIRA, Tassia L., ROSELL Carlos E., FILHO Rubens M. y BONOMI Antonio. Evaluation of process configurations for second generation integrated with first generation bioethanol production from sugarcane. En Fuel Processing Technology, 109: 84-89, octubre 2012.
44. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Hacia una economía verde: Guía para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza - Síntesis para los encargados de la formulación de políticas. Francia. 2011. 52 p.
45. TIMILSINA, Govinda y SHRESTHA, Ashish. Biofuels, Markets, Targets and Impacts. En Policy Research Working Paper, 5364: 1-47, julio 2010.
46. Comisión Económica para América Latina y el Caribe-Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo- Florencia Saulino. Implicaciones del desarrollo de los biocombustibles para la gestión y el aprovechamiento del agua. Santiago de Chile. Noviembre 2011. 66 p.
47. Instituto Nacional de Energía Agropecuaria. Compendio de la producción de bioenergía a partir de las algas. Septiembre 2008. 11 p.
48. DÍAS, Marina O.S., JUNQUEIRA, Tassia L., ROSELL Carlos E., FILHO Rubens M. y BONOMI Antonio. Evaluation of process configurations for second generation integrated with first generation bioethanol production from sugarcane. En Fuel Processing Technology, 109: 84-89, octubre 2012.

49. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Hacia una economía verde: Guía para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza - Síntesis para los encargados de la formulación de políticas. Francia. 2011. 52 p.
50. PULKRABEK, Willard. Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine. USA. 425 p.
51. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito- corporación para el mejoramiento del aire de Quito – CORPAIRE. Inventario de emisiones del Distrito Metropolitano de Quito del 2003. Quito, Ecuador. Febrero, 2006. 72 p.
52. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito- corporación para el mejoramiento del aire de Quito – CORPAIRE. Inventario de emisiones del Distrito Metropolitano de Quito del 2005. Quito, Ecuador. Febrero, 2006. 101 p.
53. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito- corporación para el mejoramiento del aire de Quito – CORPAIRE. Inventario de emisiones atmosféricas 2007. Quito, Ecuador. Diciembre, 2009. 100 p.
54. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito- corporación para el mejoramiento del aire de Quito – CORPAIRE. Inventario de emisiones atmosféricas del Distrito Metropolitano de Quito 2009. Quito, Ecuador. 120 p.
55. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito- corporación para el mejoramiento del aire de Quito – CORPAIRE. Cálculo de emisiones de fuentes móviles. Quito-Ecuador, 2007. 51 p.

ANEXO A

DATOS UTILIZADOS PARA LA ELABORACIÓN DE GRÁFICOS DEL CAPÍTULO 1

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE ALCOHOL ETÍLICO EN MEZCLAS CON GASOLINA

Tabla A.1 Clasificación por tamaño de UPA de la cantidad de UPAs y Hectáreas Plantadas para el cultivo de la caña de azúcar para azúcar y para otros usos

		Tamaño de UPA en Hectáreas									
Parámetro	Total	X < 1	1 ≤ X < 2	2 ≤ X < 3	3 ≤ X < 5	5 ≤ X < 10	10 ≤ X < 20	20 ≤ X < 50	50 ≤ X < 100	100 ≤ X < 200	200 ≤ X
Caña de azúcar para azúcar											
Cantidad de UPAs	1.699	51	94	92	226	368	310	290	88	110	70
Hectáreas plantadas	82.749	17	109	142	551	1.764	2.787	4.901	3.347	6.523	62.608
Caña de azúcar para para otros usos											
Cantidad de UPAs	35.508	2.047	2.450	2.561	3.943	6.337	6.732	6.477	3.285	1.246	430
Hectáreas plantadas	42.604	400	1.144	1.696	3.147	7.467	8.410	9.885	6.115	2.997	1.343

Fuente: Proyecto “Programa Nacional de Agro-energía”, MAGAP. III Censo Nacional Agropecuario, INEC, 2002.

X equivale a una Unidad Productiva (UPA) de un tamaño determinado

Tabla A.2 Cantidad de UPAs y hectáreas plantadas clasificadas por su extensión que se dedican al cultivo de caña de azúcar para azúcar

Parámetro	Caña de azúcar para azúcar			
	Total	$0 < X \leq 5$	$5 < X \leq 10$	$10 < X$
Cantidad de UPAs	1.699	463	368	868
Hectáreas plantadas	82.749	819	1.764	80.166

Fuente: Proyecto “Programa Nacional de Agro-energía”, MAGAP. III Censo Nacional Agropecuario, INEC, 2002. Elaboración: Propia

Tabla A.3 Porcentaje de UPAs y hectáreas plantadas clasificadas por su extensión que se dedican al cultivo de caña de azúcar para azúcar

Parámetro	Caña de azúcar para azúcar (Porcentaje)			
	Total	$0 < X \leq 5$	$5 < X \leq 10$	$10 < X$
Cantidad de UPAs	100	27,3	21,7	51,1
Hectáreas plantadas	100	1,0	2,1	96,9

Fuente: Proyecto “Programa Nacional de Agro-energía”, MAGAP. III Censo Nacional Agropecuario, INEC, 2002. Elaboración: Propia

Tabla A.4 Cantidad de UPAs y hectáreas plantadas clasificadas por su extensión que se dedican al cultivo de caña de azúcar para otros usos

Parámetro	Caña de azúcar para para otros usos			
	Total	$0 < X \leq 5$	$5 < X \leq 10$	$10 < X$
Cantidad de UPAs	35.508	11.001	6.337	18.170
Hectáreas plantadas	42.604	6.387	7.467	28.750

Fuente: Proyecto “Programa Nacional de Agro-energía”, MAGAP. III Censo Nacional Agropecuario, INEC, 2002. Elaboración: Propia

Tabla A.5 Porcentaje de UPAs y hectáreas plantadas clasificadas por su extensión que se dedican al cultivo de caña de azúcar para otros usos

Parámetro	Caña de azúcar para para otros usos (Porcentaje)			
	Total	$0 < X \leq 5$	$5 < X \leq 10$	$10 < X$
Cantidad de UPAs	100	31,0	17,8	51,2
Hectáreas plantadas	100	15,0	17,5	67,5

Fuente: Proyecto “Programa Nacional de Agro-energía”, MAGAP. III Censo Nacional Agropecuario, INEC, 2002. Elaboración: Propia

Tabla A.6 Cantidad de UPAs y Superficie Plantada por provincia que se dedican al cultivo de caña de azúcar para azúcar y para otros usos

Regiones y Provincias	Caña de Azúcar para Azúcar		Caña de Azúcar para otros Usos	
	Upas	Superficie Plantada (Hectáreas)	Upas	Superficie Plantada (Hectáreas)
Total Nacional	1.623	82.439	35.413	42.530
Azuay			2.335	2.588
Bolívar			4.108	5.913
Cañar	79	21.678	610	1.381
Carchi			206	334
Cotopaxi			2.821	6.153
Chimborazo			270	459
Imbabura	286	6.745	1.040	2.637
Loja	140	2.097	13.633	8.681
Pichincha			1.628	4.337
Tungurahua			27	115
El Oro			1.881	2.693
Esmeraldas			520	448
Guayas	1.111	50.335	34	99
Los Ríos	7	1.584	84	114
Manabí			530	923
Morona Santiago			2.247	1.611
Napo			138	114
Pastaza			1.324	2.158
Zamora Chinchipe			1.681	1.560
Sucumbíos			296	212
Orellana				

Fuente: Proyecto “Programa Nacional de Agro-energía”, MAGAP. III Censo Nacional Agropecuario, INEC. 2002. Elaboración: Propia

Tabla A.7 Porcentaje de UPAs y Superficie Plantada por provincia que se dedican al cultivo de caña de azúcar para azúcar y para otros usos

Regiones y Provincias	Caña de Azúcar para Azúcar		Caña de Azúcar para otros Usos	
	Upas (Porcentaje)	Superficie Plantada (Porcentaje)	Upas (Porcentaje)	Superficie Plantada (Porcentaje)
Total Nacional	100	100,0	100,0	100,0
Azuay			6,6	6,1
Bolívar			11,6	13,9
Cañar	4,9	26,3	1,7	3,2
Carchi			0,6	0,8
Cotopaxi			8,0	14,5
Chimborazo			0,8	1,1
Imbabura	17,6	8,2	2,9	6,2
Loja	8,6	2,5	38,5	20,4
Pichincha			4,6	10,2
Tungurahua			0,1	0,3
El Oro			5,3	6,3
Esmeraldas			1,5	1,1
Guayas	68,5	61,1	0,1	0,2
Los Ríos	0,4	1,9	0,2	0,3
Manabí			1,5	2,2
Morona Santiago			6,3	3,8
Napo			0,4	0,3
Pastaza			3,7	5,1
Zamora Chinchipe			4,7	3,7
Sucumbíos			0,8	0,5
Orellana				

Fuente: Proyecto “Programa Nacional de Agro-energía”, MAGAP. III Censo Nacional Agropecuario, INEC. 2002. Elaboración: Propia

ANEXO B

DATOS UTILIZADOS PARA LA ELABORACIÓN DE GRÁFICOS DEL CAPÍTULO 2

CICLO DE ELABORACIÓN DE ETANOL ANHIDRO Y ESTADÍSTICAS DE PRODUCCIÓN A NIVEL MUNDIAL, REGIONAL Y NACIONAL

Tabla B.6 Evolución de la superficie cosechada, producción y rendimiento mundial de caña de azúcar

Parámetro	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Producción (Millones TM)	1.257,46	1.266,53	1.334,69	1.378,59	1.340,92	1.321,58	1.422,38	1.616,11	1.734,10	1.687,03	1.694,51	1.794,36
Rendimiento (TM/Ha)	64,83	64,63	65,54	66,79	66,16	66,54	68,60	70,84	71,57	70,83	71,61	70,54
Área Cosechada (Datos reales/10. 000)	1.939,71	1.959,58	2.036,35	2.063,96	2.026,75	1.986,29	2.073,50	2.281,28	2.423,01	2.381,90	2.366,45	2.543,69

Fuentes: FAO, http://faostat3.fao.org/home/index_es.html?locale=es#DOWNLOAD

La Caña de Azúcar, Subsecretaría de Productividad, MIPRO

Tabla B.7 Producción de caña de azúcar por regiones. 2000-2011

Regiones	2000		2003		2007		2009		2011	
	TM (millones)	% total mundo	TM (millones)	% total mundo	TM (millones)	% total mundo	TM (millones)	% total mundo	TM (millones)	% total mundo
América del Sur	410,11	32,74	493,96	35,90	640,52	40,27	798,79	47,35	823,07	45,87
Sur Asia	358,06	28,59	354,88	25,79	425,20	26,73	346,54	20,54	411,59	22,94
Sudeste Asiático	125,44	10,01	155,01	11,27	138,20	8,69	152,67	9,05	183,20	10,21
Asia del Este	70,69	5,64	93,43	6,79	107,93	6,79	117,77	6,98	116,12	6,47
Centroamérica	79,99	6,39	85,94	6,25	99,48	6,25	94,39	5,60	98,69	5,50
Oceanía	42,15	3,37	40,26	2,93	39,36	2,47	32,71	1,94	27,27	1,52
África del Este	26,88	2,15	31,41	2,28	30,14	1,89	34,78	2,06	34,16	1,90
Resto del mundo	139,23	11,12	121,01	8,79	109,87	6,91	109,38	6,48	100,26	5,59

Fuentes: FAO, http://faostat3.fao.org/home/index_es.html?locale=es#DOWNLOAD

La Caña de Azúcar, Subsecretaría de Productividad, MIPRO

Tabla B.8 Principales productores mundiales. Año: 2011

Ranking	País	Producción TM (millones)
1	Brasil	734,00
2	India	342,38
3	China	115,12
4	Tailandia	95,95
5	Pakistán	55,31
6	México	49,73
7	Filipinas	34,00
8	Estados Unidos	26,65
9	Australia	25,18
10	Colombia	22,73

Fuentes: FAO, http://faostat3.fao.org/home/index_es.html?locale=es#DOWNLOAD
La Caña de Azúcar, Subsecretaría de Productividad, MIPRO

Tabla B.9 Porcentaje de Producción a nivel mundial de los principales productores de Caña de Azúcar. Incluidos para fines comparativos: Colombia y Ecuador. Año: 2011

País	Producción (%)
Brasil	40,91
India	19,08
China	6,42
Tailandia	5,35
Pakistán	3,08
Colombia	1,27
Ecuador	0,45
Resto del Mundo	23,45

Fuentes: FAO, http://faostat3.fao.org/home/index_es.html?locale=es#DOWNLOAD
La Caña de Azúcar, Subsecretaría de Productividad, MIPRO

Tabla B.10 Rendimiento productivo por regiones. 2000-2011

Regiones	2000	2003	2007	2009	2011	Crecimiento anual (%)
	(TM/Ha)					
Norte de África	102,93	109,93	111,21	110,54	111,54	1,11
Oceanía	86,18	77,79	81,57	72,86	75,38	-0,78
América del Norte	78,42	76,32	77,62	78,62	75,48	-0,15
Centroamérica	74,64	76,40	77,27	77,41	75,20	0,50
América del Sur	68,38	74,71	76,83	80,23	76,77	1,68
Sur Asia	65,06	59,93	68,29	60,73	66,44	0,70
Resto del Mundo	51,10	47,40	45,20	63,08	59,77	-1,74

Fuentes: FAO, http://faostat3.fao.org/home/index_es.html?locale=es#DOWNLOAD
La Caña de Azúcar, Subsecretaría de Productividad, MIPRO

Tabla B.6 Rendimiento productivo por países. 2000-2011

País	2000	2003	2007	2009	2011
	(TM/Ha)				
Perú	118,07	120,48	121,09	131,88	123,45
Tanzania	90,33	111,11	119,57	103,04	100,00
Egipto	117,22	118,16	119,56	116,39	115,31
Senegal	107,59	111,88	116,11	116,11	114,67
Malawi	105,00	102,44	108,70	108,69	108,69
Colombia	86,20	97,85	93,85	101,45	119,60
Sudán	78,41	100,00	104,17	107,39	-
Zambia	106,67	104,55	104,17	104,91	106,06
Uganda	73,81	117,06	100,00	69,91	60,00
Burkina Faso	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Chad	94,29	100,27	100,00	100,00	97,50
Ecuador	69,82	69,70	86,35	79,31	94,06
Brasil	67,62	73,73	77,63	80,25	76,45

Fuentes: FAO, http://faostat3.fao.org/home/index_es.html?locale=es#DOWNLOAD
La Caña de Azúcar, Subsecretaría de Productividad, MIPRO

Tabla B.7 Evolución de la superficie cosechada, producción y rendimiento de caña de azúcar en el Ecuador

Parámetro	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Producción (Millones TM)	5,40	5,65	5,27	5,83	6,12	6,83	7,00	8,36	9,34	8,47	8,35	8,13
Rendimiento (TM/Ha)	69,82	72,44	68,86	69,70	66,40	72,76	76,68	86,35	96,14	79,32	78,06	94,06
Área Cosechada (Datos reales/ 10.000)	7,74	7,81	7,66	8,37	9,21	9,39	9,12	9,68	9,72	10,68	10,69	8,65

Fuente: INEC, Portal de Estadísticas, Estadísticas Económicas, Estadísticas Agropecuarias, Visualizador ESPAC

http://www.inec.gob.ec/estadisticas/?option=com_content&view=article&id=103&Itemid=75&TB_iframe=true&height=533&width=1164

Tabla B.8 Balance mundial del Azúcar

Año	Balance	Año	Balance
1999	6,99	2010	1,72
2000	2,96	2011	5,37
2001	5,48	2012	7,42
2002	11,03	2013	1,66
2003	3,08	2014	-0,54
2004	-3,33	2015	0,35
2005	2,19	2016	2,48
2006	13,41	2017	5,02
2007	10,91	2018	1,98
2008	-6,77	2019	0,34
2009	-1,15	2020	0,36

Fuente: Secretariados de la OCDE y de la FAO, Perspectivas Agrícolas 2010 – 2020.
<http://dx.doi.org/10.1787/888932426885>

Tabla B.9 Producción Mundial de Azúcar 2006 – 2011 y Proyecciones hasta 2020

Año	Producción (millones TM)	Consumo (millones TM)
2005	150,26	148,07
2006	166,24	152,82
2007	166,21	155,30
2008	150,90	157,67
2009	160,61	161,76
2010	166,65	164,94
2011	174,55	169,18
2012	181,68	174,25
2013	179,49	177,83
2014	181,25	181,79
2015	185,35	185,00
2016	190,86	188,38
2017	197,97	192,94
2018	199,69	197,71
2019	202,56	202,22
2020	207,41	207,04

Fuente: Secretariados de la OCDE y de la FAO, Perspectivas Agrícolas 2010 – 2020
<http://dx.doi.org/10.1787/888932426923>

Tabla B.10 Evolución de los precios mundiales del azúcar en términos reales al 2020

Año	Azúcar sin Refinar (Dólares/Tonelada)	Azúcar Blanca (Dólares/Tonelada)
1990	282,60	418,71
1991	271,94	373,51
1992	275,87	357,82
1993	317,00	411,90
1994	382,54	495,99
1995	335,39	470,68
1996	309,69	384,25
1997	281,50	322,24
1998	181,63	252,94
1999	191,26	231,11
2000	243,76	282,37
2001	184,33	257,59
2002	191,62	240,64
2003	183,83	240,16
2004	238,32	284,17
2005	347,96	404,47
2006	249,07	318,27
2007	283,60	322,43
2008	323,56	382,97
2009	485,13	532,98
2010	537,59	587,37
2011	454,68	548,19
2012	323,10	410,38
2013	333,60	411,23
2014	408,97	469,93
2015	440,79	510,20
2016	371,15	446,94
2017	328,00	406,08
2018	323,54	401,04
2019	319,00	395,60
2020	310,81	386,71

Fuente: Secretariados de la OCDE y de la FAO, Perspectivas Agrícolas 2010 – 2020
<http://dx.doi.org/10.1787/888932426904>

Tabla B.11 Comparación de los volúmenes de exportación de los principales exportadores entre 2008-2010 y 2020

País	2008-2010	2020
Brasil	25,14	35,49
Tailandia	5,05	5,45
Australia	3,05	3,89
India	0,72	0,89
México	0,63	1,83
Sud África	0,76	0,27

Fuente: Secretariados de la OCDE y de la FAO, Perspectivas Agrícolas 2010 – 2020.
<http://dx.doi.org/10.1787/888932426961>

Tabla B.12 Producción anual de azúcar cruda centrifugada en el Ecuador. 2000-2011

Año	Producción (miles TM)
2000	515,70
2001	590,65
2002	568,72
2003	505,00
2004	659,01
2005	580,70
2006	470,00
2007	500,00
2008	492,00
2009	508,00
2010	514,00
2011	492,00

Fuentes: FAO, http://faostat3.fao.org/home/index_es.html?locale=es#DOWNLOAD

Tabla B.13 Exportaciones de azúcar en el Ecuador. 2000-2012

Año	Toneladas
2000	23.153
2001	62.295
2002	17.594
2003	61.105
2004	66.081
2005	52.754
2006	44.498
2007	15.598
2008	38.452
2009	12.013
2010	18.925
2011	18.836
2012	13.055
TOTAL	444.360

Fuente: Banco Central del Ecuador

<http://www.bce.fin.ec/frame.php?CNT=ARB0000767>

Tabla B.14 Importaciones de azúcar en el Ecuador. 2000-2012

Año	Toneladas
2000	13.208
2001	5.297
2002	46.641
2003	8.504
2004	17.440
2005	31.251
2006	9.386
2007	15.703
2008	9.665
2009	10.987
2010	41.203
2011	58.655
2012	40.379
TOTAL	308.317

Fuente: Banco Central del Ecuador

<http://www.bce.fin.ec/frame.php?CNT=ARB0000767>

Tabla B.15 Desarrollo y Perspectivas del Mercado Mundial de Etanol

Año	Producción Mundial de Etanol	Comercio Mundial de Etanol
	Miles de Millones de Litros de Alcohol	
2005	48,40	2,96
2006	58,08	3,94
2007	72,06	3,78
2008	83,64	5,40
2009	91,91	3,48
2010	99,42	2,50
2011	105,61	4,81
2012	113,16	6,54
2013	120,96	7,64
2014	126,69	8,54
2015	130,67	8,65
2016	134,85	10,05
2017	139,04	10,94
2018	143,38	11,69
2019	149,62	11,76
2020	154,96	11,01

Fuente: Secretariados de la OCDE y de la FAO, Perspectivas Agrícolas 2010 – 2020.
<http://dx.doi.org/10.1787/888932426467>

Tabla B.16 Desarrollo Proyectado del Mercado Estadounidense de Etanol

Año	Producción	Uso Total	Año	Producción	Uso Total
	Miles de Millones de Litros de Alcohol			Miles de Millones de Litros de Alcohol	
2005	16,87	18,27	2013	58,95	62,64
2006	21,50	23,81	2014	59,91	65,20
2007	29,94	31,62	2015	59,78	66,00
2008	35,75	39,20	2016	59,73	67,72
2009	44,35	46,52	2017	60,58	69,77
2010	48,47	48,27	2018	61,18	71,18
2011	51,14	52,81	2019	62,83	72,97
2012	55,29	57,80	2020	63,96	73,47

Fuente: Secretariados de la OCDE y de la FAO, Perspectivas Agrícolas 2010 – 2020.
<http://dx.doi.org/10.1787/888932426505>

Tabla B.17 Desarrollo Proyectado del Mercado Brasileño de Etanol

Año	Producción	Uso Total	Año	Producción	Uso Total
	Miles de Millones de Litros de Alcohol			Miles de Millones de Litros de Alcohol	
2005	15,71	13,08	2013	33,63	26,99
2006	17,92	14,47	2014	36,48	28,94
2007	22,33	18,76	2015	38,48	30,91
2008	26,49	21,31	2016	40,58	31,79
2009	25,07	21,83	2017	42,12	32,61
2010	26,72	24,63	2018	44,31	34,09
2011	28,81	25,12	2019	47,42	37,10
2012	31,02	25,56	2020	50,39	40,69

Fuente: Secretariados de la OCDE y de la FAO, Perspectivas Agrícolas 2010 – 2020.

<http://dx.doi.org/10.1787/888932426543>**Tabla B.18** Evolución de los precios del etanol en términos reales al 2020

Año	Dólares/ 100 litros	Año	Dólares/ 100 litros
2000	27,18	2011	57,47
2001	23,69	2012	56,38
2002	22,87	2013	55,29
2003	26,84	2014	54,66
2004	24,16	2015	54,31
2005	34,94	2016	54,41
2006	44,15	2017	54,39
2007	38,65	2018	53,50
2008	42,81	2019	52,31
2009	40,08	2020	50,55
2010	52,58		

Fuente: Secretariados de la OCDE y de la FAO, Perspectivas Agrícolas 2010 – 2020.

<http://dx.doi.org/10.1787/888932426448>

Tabla B.19 Evolución de la producción mundial de etanol por materia prima utilizada

Año	2008- 2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Cereales secundarios	47,1	56,3	60,5	64,3	65,6	66,1	66,5	67,3	67,6	68,5	68,2
Caña de Azúcar	26,8	29,9	32,2	35,0	38,0	40,1	42,4	44,1	46,4	49,7	52,8
Basados en Biomasa	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	1,1	1,8	2,8	4,3	6,6
Trigo	2,1	2,7	2,9	3,5	4,1	4,6	5,1	5,5	5,8	5,9	5,8
Melasa	3,7	4,0	4,2	4,3	4,5	4,6	4,7	4,9	5,0	5,1	5,2
Materias Primas no agrícolas	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,1	4,2
Remolacha	1,7	1,8	1,9	2,0	2,3	2,6	2,8	3,0	3,0	3,1	3,1
Otros	7,4	7,9	8,1	8,3	8,4	8,5	8,7	8,8	9,0	9,1	9,2

Fuente: Secretariados de la OCDE y de la FAO, Perspectivas Agrícolas 2010 – 2020.

<http://dx.doi.org/10.1787/888932426562>

Tabla B.20 Exportaciones de Alcohol Etflico del Ecuador

Año	Toneladas
2000	13.941,96
2001	11.191,08
2002	12.941,22
2003	16.865,45
2004	19.939,69
2005	18.612,76
2006	17.712,99
2007	19.305,37
2008	21.833,12
2009	22.186,89
2010	23.014,30
2011	23.143,40
2012	27.072,37

Fuente: Banco Central del Ecuador, <http://www.bce.fin.ec/contenido.php?CNT=ARB0000203>

Tabla B.21 Importaciones de Alcohol Etflico al Ecuador

Año	Toneladas
2000	1.771,17
2001	13,17
2002	1.737,80
2003	209,00
2004	27,36
2005	639,49
2006	270,24
2007	1.629,73
2008	1.726,83
2009	5.672,04
2010	14.495,39
2011	6.962,90
2012	19.796,05

Fuente: Banco Central del Ecuador, <http://www.bce.fin.ec/contenido.php?CNT=ARB0000203>

ANEXO C

DATOS UTILIZADOS PARA LA ELABORACIÓN DE GRÁFICOS DEL CAPÍTULO 3

PERSPECTIVAS DE PRODUCCIÓN Y USO DE ETANOL ANHIDRO COMO CARBURANTE

Tabla C.1 Consumo de gasolina del sector vial per cápita por año (kilogramos)

Año	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Argentina	65	66	70	80	93	102	105	113
Bolivia	58	62	46	46	53	63	68	74
Brasil	65	71	70	74	72	73	73	86
Colombia	89	93	81	74	64	71	59	60
Ecuador	135	118	114	122	134	145	148	156
Perú	29	29	28	27	27	30	40	43
Venezuela	376	369	401	416	416	442	401	413
Estados Unidos	1.261	1.267	1.253	1.238	1.219	1.160	1.126	1.108

Fuente: <http://datos.bancomundial.org/indicador/IS.ROD.SGAS.PC/countries?page=1&display=default>

Tabla C.2 Consumo nacional de Gasolina Súper, Extra y Ecopaís 1972 - 2012

AÑO	GASOLINAS					TOTAL POR AÑO
	SÚPER	EXTRA	ECO-85	REGULAR	EXTRA CON ETANOL	
	Cifras en Barriles					
1972	-	2.397.684	-	1.307.578	-	3.705.262
1973	-	2.835.629	-	1.289.783	-	4.125.412
1974	-	3.498.562	-	1.234.727	-	4.733.289
1975	-	4.442.716	-	1.374.776	-	5.817.492
1976	-	5.323.916	-	1.286.700	-	6.610.616
1977	-	6.569.284	-	927.341	-	7.496.625
1978	-	7.798.179	-	664.726	-	8.462.905
1979	-	8.862.608	-	664.476	-	9.527.084
1980	81.741	10.029.441	-	500.507	-	10.611.689
1981	490.873	9.727.561	-	574.599	-	10.793.033
1982	680.122	9.599.213	-	692.136	-	10.971.471
1983	319.520	8.670.418	-	521.775	-	9.511.713
1984	376.339	9.104.326	-	522.885	-	10.003.550
1985	397.044	9.322.444	-	476.186	-	10.195.674
1986	577.374	9.562.301	-	442.342	-	10.582.017
1987	547.359	9.481.679	-	97.658	-	10.126.696
1988	744.608	9.678.346	-	34.740	-	10.457.694
1989	724.409	9.706.184	-	38.798	-	10.469.391
1990	590.809	10.230.477	-	41.452	-	10.862.738
1991	612.371	10.912.625	-	27.798	-	11.552.794
1992	482.993	11.004.076	-	24.452	-	11.511.521
1993	313.734	11.109.071	26.446	6.762	-	11.456.013
1994	520.873	10.121.966	445.738	-	-	11.088.577
1995	733.893	8.378.266	1.601.238	-	-	10.713.397
1996	838.005	8.365.290	1.974.116	-	-	11.177.411
1997	928.397	8.593.936	2.228.604	-	-	11.750.937
1998	1.588.148	9.554.604	589.128	-	-	11.731.880
1999	896.126	9.722.526	-	-	-	10.618.652
2000	1.013.476	10.542.356	-	-	-	11.555.832
2001	1.410.684	10.696.786	-	-	-	12.107.470
2002	2.166.647	10.502.696	-	-	-	12.669.343
2003	2.432.445	10.046.921	-	-	-	12.479.366
2004	2.711.228	10.477.672	-	-	-	13.188.900
2005	2.978.777	10.952.688	-	-	-	13.931.465
2006	3.338.197	11.648.592	-	-	-	14.986.789
2007	3.726.366	12.411.353	-	-	-	16.137.719

2008	4.127.223	13.421.886	-	-	-	17.549.109
2009	4.439.697	14.351.214	-	-	-	18.790.911
2010	4.683.124	14.758.322	-	-	569.251	20.010.696
2011	5.506.781	15.980.138	-	-	899.443	22.386.362
2012	5.346.169	17.176.578	-	-	1.074.150	23.596.897

Fuentes: Estadísticas de Planificación de Petroecuador, Unidad de Programación y Planificación, Petrocomercial. Dirección de Estadísticas Económicas, Banco Central del Ecuador

Tabla C.3 Importaciones de nafta de alto octano y gasolina extra 1976 - 2012

IMPORTACIÓN DE GASOLINAS			
AÑO	Cifras en Barriles		
	GASOLINA EXTRA	NAFTA DE ALTO OCTANO	TOTAL POR AÑO
1976	258.846		258.846
1977	1.679.279		1.679.279
1978	1.294.178		1.294.178
1979	1.356.054		1.356.054
1980	2.516.053		2.516.053
1981	2.735.658		2.735.658
1982	2.658.184	52.203	2.710.387
1983	3.341.425		3.341.425
1984	2.167.242		2.167.242
1985	2.275.983	153.446	2.429.429
1986	1.334.632	436.464	1.771.096
1987	3.202.890	40.084	3.242.974
1988	0	50.014	50.014
1989	93.673	0	93.673
1990	120.685	0	120.685
1991	225.052	49.718	274.770
1992	414.481	0	414.481
1993	0	0	0
1994	0	0	0
1995	865.923	0	865.923
1996	0	0	0
1997	921.437	1.592.579	2.514.016
1998	369.045	3.003.390	3.372.435
1999	0	2.588.803	2.588.803
2000	0	1.468.229	1.468.229
2001	0	2.896.929	2.896.929
2002	0	4.137.636	4.137.636
2003	0	4.764.469	4.764.469
2004	0	4.649.209	4.649.209

2005	0	6.037.719	6.037.719
2006	0	6.175.077	6.175.077
2007		7.784.652	7.784.652
2008		7.413.112	7.413.112
2009		9.376.986	9.376.986
2010	2.767.132	8.856.212	11.623.345
2011	1.533.221	11.077.660	12.610.881
2012		14.231.772	14.231.772

Fuentes: Estadísticas de Planificación de Petroecuador, Unidad de Programación y Planificación, Petrocomercial. Dirección de Estadísticas Económicas, Banco Central del Ecuador

Tabla C.4 Despachos de gasolinas a la Provincia de Pichincha 2007 - 2012

Despachos de Gasolinas a la Provincia de Pichincha		
(Galones)		
Año	Gasolina Súper	Gasolina Extra
2007	50.283.501	123.447.672
2008	54.570.706	131.701.420
2009	57.083.346	136.501.315
2010	55.648.234	136.572.174
2011	69.518.290	150.916.535
2012	66.999.030	162.255.035

Fuente: Empresa Pública Petroecuador

Tabla C.5 Despachos de gasolinas al Distrito Metropolitano de Quito 2007 - 2012

Estimado de despachos para el Distrito Metropolitano de Quito		
(Galones)		
Año	Gasolina Súper	Gasolina Extra
2007	42.740.976	104.930.521
2008	46.385.100	111.946.207
2009	48.520.844	116.026.118
2010	47.300.999	116.086.348
2011	59.090.547	128.279.055
2012	56.949.176	137.916.780

*Se considera que el 85% del combustible en la provincia de Pichincha se consume en Quito, según INER

Fuente: Elaboración Propia, basada en los datos de la Tabla C.4

ANEXO D

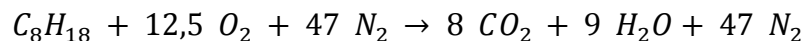
DATOS UTILIZADOS PARA LA ELABORACIÓN DEL CAPÍTULO 4

CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE CO₂ PRODUCIDAS EN LA CIUDAD DE QUITO DEBIDO A LOS MOTORES DE CICLO DE OTTO SIN ETANOL Y CON ETANOL ANHIDRO

Anexo D.1 Ejemplo de cálculo de la Relación Aire – Combustible (AF)

- Para la primera simulación: 100% gasolina:

De la ecuación:



AF

$$= \frac{\left((2 \times 12,5) \text{ moles } O_2 \times \frac{16 \text{ gramos}}{\text{mol } O_2} \right) + \left((2 \times 47) \text{ moles } N_2 \times \frac{14 \text{ gramos}}{\text{mol } N_2} \right)}{\left(8 \text{ moles } C \times \frac{12 \text{ gramos}}{\text{mol } C} \right) + \left(18 \text{ moles } H \times \frac{1 \text{ gramos}}{\text{mol } H} \right)}$$

$$AF = 15,05$$

Anexo D.2 Ejemplo de cálculo del poder calorífico de la mezcla

- Para la segunda simulación: 97% gasolina + 3% etanol

$$\text{Poder calorífico del etanol} = 20.790 \frac{KJ}{Kg}$$

$$\text{Poder calorífico de la gasolina} = 43.950 \frac{KJ}{Kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Poder calorífico de la mezcla} &= 0,97 \left(43.950 \frac{KJ}{Kg} \right) + 0,03 \left(20.790 \frac{KJ}{Kg} \right) = \\ &43.255,2 \frac{KJ}{Kg} \end{aligned}$$

*<http://onsager.unex.es/Apuntes/Termo/Tablas-Tema-3.pdf>

Anexo D.3 Reporte de las Simulaciones

Primera Simulación: 100% de Gasolina

Computed properties

atoms	population				
C	8.00000000E+00				
H	1.80000000E+01				
O	2.50000000E+01				
N	9.40000000E+01				

Reactants at P = 7.500E-01 atmospheres

species	mol fraction in the phase	mol fraction in mixture	mass fraction in mixture	mols*
phase 1: molal mass = 30.262 kg/kmol T = 288.00 K				
I-C8H18	.16529E-01	.16529E-01	.62392E-01	
1.00000E+00				
O2	.20661E+00	.20661E+00	.21847E+00	
1.25000E+01				
N2	.77686E+00	.77686E+00	.71914E+00	
4.70000E+01				

Calculations made using frozen composition.
 * Species mols for the atom populations in mols.
 Mixture properties: molal mass = 30.262 kg/kmol
 P = 7.5994E+04 Pa V = 1.0412E+00 m**3/kg
 U = -2.1205E+05 J/kg H = -1.3292E+05 J/kg S = 6.7510E+03 J/kg-K
 Made 0 (T,P) iterations; 0 equilibrium iterations; v 3.96 IBM-PC

Computed properties

atoms	population				
C	8.00000000E+00				
H	1.80000000E+01				
O	2.50000000E+01				
N	9.40000000E+01				

Reactants at P = 1.607E+01 atmospheres

species	mol fraction in the phase	mol fraction in mixture	mass fraction in mixture	mols*
phase 1: molal mass = 30.262 kg/kmol T = 617.11 K				
I-C8H18	.16529E-01	.16529E-01	.62392E-01	
1.00000E+00				
O2	.20661E+00	.20661E+00	.21847E+00	
1.25000E+01				
N2	.77686E+00	.77686E+00	.71914E+00	
4.70000E+01				

Calculations made using frozen composition.
 * Species mols for the atom populations in mols.
 Mixture properties: molal mass = 30.262 kg/kmol
 P = 1.6284E+06 Pa V = 1.0412E-01 m**3/kg
 U = 6.3645E+04 J/kg H = 2.3319E+05 J/kg S = 6.7510E+03 J/kg-K
 Made 6 (T,P) iterations; 0 equilibrium iterations; v 3.96 IBM-PC

Computed properties

Independent atom	population	element potential		
C	8.00000000E+00	-16.4369		
H	1.80000000E+01	-10.2077		
O	2.50000000E+01	-14.7562		
N	9.40000000E+01	-12.7292		

Products at T = 4452.61 K P = 1.286E+02 atmospheres

species	mol fraction in the phase	mol fraction in mixture	mass fraction in mixture	mols*
phase 1: molal mass = 27.293 kg/kmol				
CO	.92076E-01	.92076E-01	.94499E-01	
6.17677E+00				
H2O	.13416E+00	.13416E+00	.88561E-01	
9.00000E+00				

N2	.65467E+00	.65467E+00	.67196E+00
4.39170E+01			
CO2	.27179E-01	.27179E-01	.43827E-01
1.82323E+00			
NO	.91757E-01	.91757E-01	.10089E+00
6.15534E+00			
NO2	.15970E-03	.15970E-03	.26921E-03
1.07133E-02			
C2H2	.35212E-11	.35212E-11	.33593E-11
2.36212E-10			
C2H4	.35373E-15	.35373E-15	.36359E-15
2.37290E-14			
CH4	.51656E-10	.51656E-10	.30364E-10
3.46525E-09			
C6H6	.23982E-41	.23982E-41	.68638E-41
1.60879E-40			

* Species mols for the atom populations in mols.
Mixture properties: molal mass = 27.293 kg/kmol
T = 4452.61 K P = 1.3028E+07 Pa V = 1.0412E-01 m**3/kg
U = 2.8019E+06 J/kg H = 4.1584E+06 J/kg S = 9.4744E+03 J/kg-K
Made 6 (T,P) iterations; 62 equilibrium iterations; v 3.96 IBM-PC

Computed properties

Independent atom	population	element potential
C	8.00000000E+00	-19.6664
H	1.80000000E+01	-11.8473
O	2.50000000E+01	-15.2284
N	9.40000000E+01	-13.2917

Products at T = 2993.27 K P = 8.380E+00 atmospheres

species	mol fraction in the phase	mol fraction in mixture	mass fraction in mixture	mols*
phase 1: molal mass = 28.150 kg/kmol				
CO	.32017E-01	.32017E-01	.31859E-01	
2.08242E+00				
H2O	.13838E+00	.13838E+00	.88562E-01	
9.00000E+00				
N2	.70664E+00	.70664E+00	.70322E+00	
4.59599E+01				
CO2	.90983E-01	.90983E-01	.14225E+00	
5.91758E+00				
NO	.31952E-01	.31952E-01	.34062E-01	
2.07818E+00				
NO2	.32639E-04	.32639E-04	.53346E-04	
2.12288E-03				
C2H2	.60608E-17	.60608E-17	.56061E-17	
3.94196E-16				
C2H4	.54255E-22	.54255E-22	.54070E-22	
3.52874E-21				
CH4	.27385E-14	.27385E-14	.15607E-14	
1.78115E-13				
C6H6	.15392E-57	.15392E-57	.42710E-57	
1.00107E-56				

* Species mols for the atom populations in mols.
Mixture properties: molal mass = 28.150 kg/kmol
T = 2993.27 K P = 8.4911E+05 Pa V = 1.0412E+00 m**3/kg
U = 2.7960E+05 J/kg H = 1.1637E+06 J/kg S = 9.4744E+03 J/kg-K
Made 12 (T,P) iterations; 108 equilibrium iterations; v 3.96 IBM-PC

Computed properties

Independent atom	population	element potential
C	8.00000000E+00	-23.9329
H	1.80000000E+01	-13.6571
O	2.50000000E+01	-16.6973
N	9.40000000E+01	-13.8035

Products at T = 2047.00 K P = 7.500E-01 atmospheres

species	mol fraction in the phase	mol fraction in mixture	mass fraction in mixture	mols*
phase 1: molal mass = 28.574 kg/kmol				
CO	.22945E-02	.22945E-02	.22493E-02	
1.47020E-01				
H2O	.14046E+00	.14046E+00	.88562E-01	
9.00000E+00				
N2	.73239E+00	.73239E+00	.71801E+00	
4.69265E+01				
CO2	.12256E+00	.12256E+00	.18877E+00	
7.85298E+00				
NO	.22930E-02	.22930E-02	.24081E-02	
1.46922E-01				
NO2	.76191E-06	.76191E-06	.12268E-05	
4.88182E-05				
C2H2	.30127E-24	.30127E-24	.27453E-24	
1.93035E-23				
C2H4	.59674E-30	.59674E-30	.58587E-30	
3.82352E-29				
CH4	.54334E-19	.54334E-19	.30506E-19	
3.48137E-18				
C6H6	.11027E-76	.11027E-76	.30143E-76	
7.06515E-76				

* Species mols for the atom populations in mols.

Mixture properties: molal mass = 28.574 kg/kmol

T = 2047.00 K P = 7.5994E+04 Pa V = 7.8377E+00 m**3/kg

U = -1.2085E+06 J/kg H = -6.1289E+05 J/kg S = 9.4744E+03 J/kg-K

Made 10 (T,P) iterations; 28 equilibrium iterations; v 3.96 IBM-PC

Segunda Simulación: 97% de Gasolina y 3% Etanol anhidro

Computed properties

atoms	population
C	7.82000000E+00
H	1.76400000E+01
O	2.44600000E+01
N	9.18400000E+01

Reactants at P = 7.500E-01 atmospheres

species	mol fraction in the phase	mol fraction in mixture	mass fraction in mixture	mols*
phase 1: molal mass = 30.260 kg/kmol T = 288.00 K				
I-C8H18	.16403E-01	.16403E-01	.61921E-01	
9.70000E-01				
C2H5OH	.50731E-03	.50731E-03	.77237E-03	
3.00000E-02				
O2	.20656E+00	.20656E+00	.21843E+00	
1.22150E+01				
N2	.77653E+00	.77653E+00	.71888E+00	
4.59200E+01				

Calculations made using frozen composition.

* Species mols for the atom populations in mols.

Mixture properties: molal mass = 30.260 kg/kmol

P = 7.5994E+04 Pa V = 1.0413E+00 m**3/kg

U = -2.1508E+05 J/kg H = -1.3595E+05 J/kg S = 6.7529E+03 J/kg-K

Made 0 (T,P) iterations; 0 equilibrium iterations; v 3.96 IBM-PC

Computed properties

atoms	population
C	7.82000000E+00
H	1.76400000E+01
O	2.44600000E+01
N	9.18400000E+01

Reactants at P = 1.607E+01 atmospheres

species	mol fraction	mol fraction	mass fraction	mols*
---------	--------------	--------------	---------------	-------

	in the phase	in mixture	in mixture
phase 1: molal mass =	30.260	kg/kmol	T = 617.11 K
I-C8H18	.16403E-01	.16403E-01	.61921E-01
9.70000E-01			
C2H5OH	.50731E-03	.50731E-03	.77237E-03
3.00000E-02			
O2	.20656E+00	.20656E+00	.21843E+00
1.22150E+01			
N2	.77653E+00	.77653E+00	.71888E+00
4.59200E+01			

Calculations made using frozen composition.
 * Species mols for the atom populations in mols.
 Mixture properties: molal mass = 30.260 kg/kmol
 P = 1.6283E+06 Pa V = 1.0413E-01 m**3/kg
 U = 6.0632E+04 J/kg H = 2.3019E+05 J/kg S = 6.7529E+03 J/kg-K
 Made 6 (T,P) iterations; 0 equilibrium iterations; v 3.96 IBM-PC

Computed properties

Independent atom	population	element potential
C	7.82000000E+00	-16.4537
H	1.76400000E+01	-10.2153
O	2.44600000E+01	-14.7465
N	9.18400000E+01	-12.7229

Products at T = 4433.80 K P = 1.280E+02 atmospheres

species	mol fraction in the phase	mol fraction in mixture	mass fraction in mixture	mols*
phase 1: molal mass =	27.298	kg/kmol		
CO	.91446E-01	.91446E-01	.93833E-01	
5.99448E+00				
H2O	.13455E+00	.13455E+00	.88799E-01	
8.82000E+00				
N2	.65487E+00	.65487E+00	.67203E+00	
4.29280E+01				
CO2	.27848E-01	.27848E-01	.44897E-01	
1.82552E+00				
NO	.91127E-01	.91127E-01	.10017E+00	
5.97353E+00				
NO2	.15977E-03	.15977E-03	.26927E-03	
1.04730E-02				
C2H2	.31661E-11	.31661E-11	.30199E-11	
2.07543E-10				
C2H4	.31441E-15	.31441E-15	.32312E-15	
2.06104E-14				
CH4	.47854E-10	.47854E-10	.28123E-10	
3.13689E-09				
C6H6	.18527E-41	.18527E-41	.53015E-41	
1.21450E-40				

* Species mols for the atom populations in mols.
 Mixture properties: molal mass = 27.298 kg/kmol
 T = 4433.80 K P = 1.2969E+07 Pa V = 1.0413E-01 m**3/kg
 U = 2.7692E+06 J/kg H = 4.1196E+06 J/kg S = 9.4692E+03 J/kg-K
 Made 6 (T,P) iterations; 62 equilibrium iterations; v 3.96 IBM-PC

Computed properties

Independent atom	population	element potential
C	7.82000000E+00	-19.6899
H	1.76400000E+01	-11.8542
O	2.44600000E+01	-15.2315
N	9.18400000E+01	-13.2870

Products at T = 2982.96 K P = 8.349E+00 atmospheres

species	mol fraction in the phase	mol fraction in mixture	mass fraction in mixture	mols*
phase 1: molal mass =	28.155	kg/kmol		
CO	.31371E-01	.31371E-01	.31209E-01	
1.99379E+00				

H2O	.13878E+00	.13878E+00	.88800E-01
8.82000E+00			
N2	.70684E+00	.70684E+00	.70328E+00
4.49241E+01			
CO2	.91671E-01	.91671E-01	.14329E+00
5.82621E+00			
NO	.31307E-01	.31307E-01	.33367E-01
1.98973E+00			
NO2	.31917E-04	.31917E-04	.52154E-04
2.02849E-03			
C2H2	.53978E-17	.53978E-17	.49919E-17
3.43065E-16			
C2H4	.48268E-22	.48268E-22	.48094E-22
3.06772E-21			
CH4	.25595E-14	.25595E-14	.14584E-14
1.62673E-13			
C6H6	.11737E-57	.11737E-57	.32562E-57
7.45947E-57			

* Species mols for the atom populations in mols.
Mixture properties: molal mass = 28.155 kg/kmol
T = 2982.96 K P = 8.4593E+05 Pa V = 1.0413E+00 m**3/kg
U = 2.5653E+05 J/kg H = 1.1374E+06 J/kg S = 9.4692E+03 J/kg-K
Made 12 (T,P) iterations; 109 equilibrium iterations; v 3.96 IBM-PC

Computed properties

Independent	population	element			
atom		potential			
C	7.82000000E+00	-23.9765			
H	1.76400000E+01	-13.6690			
O	2.44600000E+01	-16.7126			
N	9.18400000E+01	-13.7965			

Products at T = 2038.30 K P = 7.500E-01 atmospheres

species	mol fraction in the phase	mol fraction in mixture	mass fraction in mixture	mols*
phase 1: molal mass = 28.572 kg/kmol				
CO	.21918E-02	.21918E-02	.21488E-02	
1.37272E-01				
H2O	.14083E+00	.14083E+00	.88800E-01	
8.82000E+00				
N2	.73212E+00	.73212E+00	.71780E+00	
4.58514E+01				
CO2	.12267E+00	.12267E+00	.18895E+00	
7.68273E+00				
NO	.21904E-02	.21904E-02	.23005E-02	
1.37182E-01				
NO2	.72164E-06	.72164E-06	.11620E-05	
4.51952E-05				
C2H2	.24708E-24	.24708E-24	.22516E-24	
1.54741E-23				
C2H4	.49369E-30	.49369E-30	.48473E-30	
3.09192E-29				
CH4	.48929E-19	.48929E-19	.27473E-19	
3.06433E-18				
C6H6	.70693E-77	.70693E-77	.19326E-76	
4.42738E-76				

* Species mols for the atom populations in mols.
Mixture properties: molal mass = 28.572 kg/kmol
T = 2038.30 K P = 7.5994E+04 Pa V = 7.8050E+00 m**3/kg
U = -1.2228E+06 J/kg H = -6.2966E+05 J/kg S = 9.4692E+03 J/kg-K
Made 10 (T,P) iterations; 27 equilibrium iterations; v 3.96 IBM-PC

Tercera Simulación: 95% de Gasolina y 5% Etanol anhidro

Computed properties

atoms	population
C	7.70000000E+00

```

      H      1.74000000E+01
      O      2.41000000E+01
      N      9.04280000E+01
Reactants at P = 7.500E-01 atmospheres
  species      mol fraction      mol fraction      mass fraction      mols*
                  in the phase      in mixture      in mixture
phase 1:  molal mass = 30.258 kg/kmol T = 288.00 K
      I-C8H18      .16312E-01      .16312E-01      .61581E-01
9.50000E-01
      C2H5OH      .85853E-03      .85853E-03      .13072E-02
5.00000E-02
      O2      .20648E+00      .20648E+00      .21835E+00
1.20250E+01
      N2      .77635E+00      .77635E+00      .71876E+00
4.52140E+01
Calculations made using frozen composition.
* Species mols for the atom populations in mols.
Mixture properties:  molal mass = 30.258 kg/kmol
      P = 7.5994E+04 Pa      V = 1.0414E+00 m**3/kg
      U = -2.1715E+05 J/kg      H = -1.3801E+05 J/kg      S = 6.7542E+03 J/kg-K
Made 0 (T,P) iterations; 0 equilibrium iterations; v 3.96 IBM-PC

```

```

Computed properties
  atoms      population
      C      7.70000000E+00
      H      1.74000000E+01
      O      2.41000000E+01
      N      9.04280000E+01
Reactants at P = 1.607E+01 atmospheres
  species      mol fraction      mol fraction      mass fraction      mols*
                  in the phase      in mixture      in mixture
phase 1:  molal mass = 30.258 kg/kmol T = 617.12 K
      I-C8H18      .16312E-01      .16312E-01      .61581E-01
9.50000E-01
      C2H5OH      .85853E-03      .85853E-03      .13072E-02
5.00000E-02
      O2      .20648E+00      .20648E+00      .21835E+00
1.20250E+01
      N2      .77635E+00      .77635E+00      .71876E+00
4.52140E+01
Calculations made using frozen composition.
* Species mols for the atom populations in mols.
Mixture properties:  molal mass = 30.258 kg/kmol
      P = 1.6283E+06 Pa      V = 1.0414E-01 m**3/kg
      U = 5.8579E+04 J/kg      H = 2.2815E+05 J/kg      S = 6.7542E+03 J/kg-K
Made 6 (T,P) iterations; 0 equilibrium iterations; v 3.96 IBM-PC

```

```

Computed properties
Independent      population      element
  atom
      C      7.70000000E+00      -16.4659
      H      1.74000000E+01      -10.2208
      O      2.41000000E+01      -14.7397
      N      9.04280000E+01      -12.7182
Products at T = 4420.17 K      P = 1.276E+02 atmospheres
  species      mol fraction      mol fraction      mass fraction      mols*
                  in the phase      in mixture      in mixture
phase 1:  molal mass = 27.302 kg/kmol
      CO      .90966E-01      .90966E-01      .93325E-01
5.87135E+00
      H2O      .13479E+00      .13479E+00      .88944E-01
8.70000E+00
      N2      .65511E+00      .65511E+00      .67216E+00
4.22835E+01
      CO2      .28332E-01      .28332E-01      .45669E-01
1.82865E+00

```

NO	.90646E-01	.90646E-01	.99629E-01
5.85073E+00			
NO2	.15972E-03	.15972E-03	.26915E-03
1.03091E-02			
C2H2	.29301E-11	.29301E-11	.27943E-11
1.89119E-10			
C2H4	.28854E-15	.28854E-15	.29648E-15
1.86236E-14			
CH4	.45259E-10	.45259E-10	.26594E-10
2.92121E-09			
C6H6	.15351E-41	.15351E-41	.43919E-41
9.90823E-41			

* Species mols for the atom populations in mols.
Mixture properties: molal mass = 27.302 kg/kmol
T = 4420.17 K P = 1.2925E+07 Pa V = 1.0414E-01 m**3/kg
U = 2.7457E+06 J/kg H = 4.0917E+06 J/kg S = 9.4651E+03 J/kg-K
Made 6 (T,P) iterations; 63 equilibrium iterations; v 3.96 IBM-PC

Computed properties

Independent atom	population	element potential		
C	7.70000000E+00	-19.7073		
H	1.74000000E+01	-11.8595		
O	2.41000000E+01	-15.2341		
N	9.04280000E+01	-13.2835		

Products at T = 2975.34 K P = 8.325E+00 atmospheres

species	mol fraction in the phase	mol fraction in mixture	mass fraction in mixture	mols*
phase 1: molal mass = 28.160 kg/kmol				
CO	.30893E-01	.30893E-01	.30729E-01	
1.93325E+00				
H2O	.13902E+00	.13902E+00	.88944E-01	
8.70000E+00				
N2	.70707E+00	.70707E+00	.70340E+00	
4.42484E+01				
CO2	.92151E-01	.92151E-01	.14402E+00	
5.76675E+00				
NO	.30830E-01	.30830E-01	.32854E-01	
1.92932E+00				
NO2	.31377E-04	.31377E-04	.51265E-04	
1.96357E-03				
C2H2	.49518E-17	.49518E-17	.45787E-17	
3.09880E-16				
C2H4	.44237E-22	.44237E-22	.44071E-22	
2.76833E-21				
CH4	.24334E-14	.24334E-14	.13863E-14	
1.52279E-13				
C6H6	.95910E-58	.95910E-58	.26604E-57	
6.00199E-57				

* Species mols for the atom populations in mols.
Mixture properties: molal mass = 28.160 kg/kmol
T = 2975.34 K P = 8.4356E+05 Pa V = 1.0414E+00 m**3/kg
U = 2.4016E+05 J/kg H = 1.1186E+06 J/kg S = 9.4651E+03 J/kg-K
Made 12 (T,P) iterations; 108 equilibrium iterations; v 3.96 IBM-PC

Computed properties

Independent atom	population	element potential		
C	7.70000000E+00	-24.0092		
H	1.74000000E+01	-13.6781		
O	2.41000000E+01	-16.7242		
N	9.04280000E+01	-13.7912		

Products at T = 2031.84 K P = 7.500E-01 atmospheres

species	mol fraction in the phase	mol fraction in mixture	mass fraction in mixture	mols*
phase 1: molal mass = 28.571 kg/kmol				

CO	.21176E-02	.21176E-02	.20761E-02
1.30612E-01			
H2O	.14105E+00	.14105E+00	.88945E-01
8.70000E+00			
N2	.73199E+00	.73199E+00	.71772E+00
4.51487E+01			
CO2	.12272E+00	.12272E+00	.18904E+00
7.56939E+00			
NO	.21162E-02	.21162E-02	.22227E-02
1.30526E-01			
NO2	.69268E-06	.69268E-06	.11154E-05
4.27242E-05			
C2H2	.21291E-24	.21291E-24	.19404E-24
1.31321E-23			
C2H4	.42812E-30	.42812E-30	.42037E-30
2.64060E-29			
CH4	.45212E-19	.45212E-19	.25388E-19
2.78866E-18			
C6H6	.50649E-77	.50649E-77	.13847E-76
3.12399E-76			

* Species mols for the atom populations in mols.
Mixture properties: molal mass = 28.571 kg/kmol
T = 2031.84 K P = 7.5994E+04 Pa V = 7.7807E+00 m**3/kg
U = -1.2326E+06 J/kg H = -6.4135E+05 J/kg S = 9.4651E+03 J/kg-K
Made 9 (T,P) iterations; 25 equilibrium iterations; v 3.96 IBM-PC

Cuarta Simulación: 90% de Gasolina y 10% Etanol anhidro

Computed properties

atoms	population
C	7.40000000E+00
H	1.68000000E+01
O	2.32000000E+01
N	8.68560000E+01

Reactants at P = 7.500E-01 atmospheres

species	mol fraction in the phase	mol fraction in mixture	mass fraction in mixture	mols*
phase 1: molal mass = 30.254 kg/kmol T = 288.00 K				
I-C8H18	.16078E-01	.16078E-01	.60704E-01	
9.00000E-01				
C2H5OH	.17864E-02	.17864E-02	.27203E-02	
1.00000E-01				
O2	.20633E+00	.20633E+00	.21823E+00	
1.15500E+01				
N2	.77580E+00	.77580E+00	.71835E+00	
4.34280E+01				

Calculations made using frozen composition.
* Species mols for the atom populations in mols.
Mixture properties: molal mass = 30.254 kg/kmol
P = 7.5994E+04 Pa V = 1.0415E+00 m**3/kg
U = -2.2266E+05 J/kg H = -1.4351E+05 J/kg S = 6.7574E+03 J/kg-K
Made 0 (T,P) iterations; 0 equilibrium iterations; v 3.96 IBM-PC

Computed properties

atoms	population
C	7.40000000E+00
H	1.68000000E+01
O	2.32000000E+01
N	8.68560000E+01

Reactants at P = 1.607E+01 atmospheres

species	mol fraction in the phase	mol fraction in mixture	mass fraction in mixture	mols*
phase 1: molal mass = 30.254 kg/kmol T = 617.16 K				

I-C8H18	.16078E-01	.16078E-01	.60704E-01
9.00000E-01			
C2H5OH	.17864E-02	.17864E-02	.27203E-02
1.00000E-01			
O2	.20633E+00	.20633E+00	.21823E+00
1.15500E+01			
N2	.77580E+00	.77580E+00	.71835E+00
4.34280E+01			

Calculations made using frozen composition.
 * Species mols for the atom populations in mols.
 Mixture properties: molal mass = 30.254 kg/kmol
 P = 1.6285E+06 Pa V = 1.0415E-01 m**3/kg
 U = 5.3123E+04 J/kg H = 2.2273E+05 J/kg S = 6.7574E+03 J/kg-K
 Made 6 (T,P) iterations; 0 equilibrium iterations; v 3.96 IBM-PC

Computed properties

Independent atom	population	element potential		
C	7.40000000E+00	-16.4948		
H	1.68000000E+01	-10.2335		
O	2.32000000E+01	-14.7238		
N	8.68560000E+01	-12.7075		

Products at T = 4388.48 K P = 1.266E+02 atmospheres

species	mol fraction in the phase	mol fraction in mixture	mass fraction in mixture	mols*
phase 1: molal mass = 27.312 kg/kmol				
CO	.89838E-01	.89838E-01	.92136E-01	
5.57074E+00				
H2O	.13547E+00	.13547E+00	.89358E-01	
8.40000E+00				
N2	.65552E+00	.65552E+00	.67235E+00	
4.06476E+01				
CO2	.29500E-01	.29500E-01	.47536E-01	
1.82926E+00				
NO	.89519E-01	.89519E-01	.98355E-01	
5.55094E+00				
NO2	.15962E-03	.15962E-03	.26888E-03	
9.89754E-03				
C2H2	.24441E-11	.24441E-11	.23301E-11	
1.51555E-10				
C2H4	.23619E-15	.23619E-15	.24260E-15	
1.46459E-14				
CH4	.39765E-10	.39765E-10	.23358E-10	
2.46580E-09				
C6H6	.98913E-42	.98913E-42	.28289E-41	
6.13345E-41				

* Species mols for the atom populations in mols.
 Mixture properties: molal mass = 27.312 kg/kmol
 T = 4388.48 K P = 1.2827E+07 Pa V = 1.0415E-01 m**3/kg
 U = 2.6899E+06 J/kg H = 4.0258E+06 J/kg S = 9.4561E+03 J/kg-K
 Made 6 (T,P) iterations; 63 equilibrium iterations; v 3.96 IBM-PC

Computed properties

Independent atom	population	element potential		
C	7.40000000E+00	-19.7484		
H	1.68000000E+01	-11.8714		
O	2.32000000E+01	-15.2401		
N	8.68560000E+01	-13.2754		

Products at T = 2957.54 K P = 8.272E+00 atmospheres

species	mol fraction in the phase	mol fraction in mixture	mass fraction in mixture	mols*
phase 1: molal mass = 28.169 kg/kmol				
CO	.29792E-01	.29792E-01	.29625E-01	
1.79118E+00				

H2O	.13971E+00	.13971E+00	.89358E-01
8.40000E+00			
N2	.70744E+00	.70744E+00	.70354E+00
4.25333E+01			
CO2	.93290E-01	.93290E-01	.14575E+00
5.60882E+00			
NO	.29732E-01	.29732E-01	.31673E-01
1.78756E+00			
NO2	.30142E-04	.30142E-04	.49230E-04
1.81219E-03			
C2H2	.40443E-17	.40443E-17	.37383E-17
2.43152E-16			
C2H4	.36081E-22	.36081E-22	.35934E-22
2.16927E-21			
CH4	.21637E-14	.21637E-14	.12323E-14
1.30088E-13			
C6H6	.59759E-58	.59759E-58	.16571E-57
3.59289E-57			

* Species mols for the atom populations in mols.
Mixture properties: molal mass = 28.169 kg/kmol
T = 2957.54 K P = 8.3817E+05 Pa V = 1.0415E+00 m**3/kg
U = 2.0085E+05 J/kg H = 1.0738E+06 J/kg S = 9.4561E+03 J/kg-K
Made 12 (T,P) iterations; 108 equilibrium iterations; v 3.96 IBM-PC

Computed properties

Independent atom	population	element potential			
C	7.40000000E+00	-24.0866			
H	1.68000000E+01	-13.6994			
O	2.32000000E+01	-16.7515			
N	8.68560000E+01	-13.7789			

Products at T = 2016.77 K P = 7.500E-01 atmospheres

species	mol fraction in the phase	mol fraction in mixture	mass fraction in mixture	mols*
phase 1: molal mass = 28.566 kg/kmol				
CO	.19526E-02	.19526E-02	.19147E-02	
1.15764E-01				
H2O	.14169E+00	.14169E+00	.89358E-01	
8.40000E+00				
N2	.73154E+00	.73154E+00	.71739E+00	
4.33701E+01				
CO2	.12287E+00	.12287E+00	.18929E+00	
7.28424E+00				
NO	.19514E-02	.19514E-02	.20499E-02	
1.15690E-01				
NO2	.62925E-06	.62925E-06	.10135E-05	
3.73058E-05				
C2H2	.15003E-24	.15003E-24	.13675E-24	
8.89468E-24				
C2H4	.30639E-30	.30639E-30	.30089E-30	
1.81644E-29				
CH4	.37581E-19	.37581E-19	.21106E-19	
2.22804E-18				
C6H6	.23119E-77	.23119E-77	.63216E-77	
1.37060E-76				

* Species mols for the atom populations in mols.
Mixture properties: molal mass = 28.566 kg/kmol
T = 2016.77 K P = 7.5994E+04 Pa V = 7.7242E+00 m**3/kg
U = -1.2569E+06 J/kg H = -6.6987E+05 J/kg S = 9.4561E+03 J/kg-K
Made 9 (T,P) iterations; 27 equilibrium iterations; v 3.96 IBM-PC

Anexo D.4 Inventario de emisiones de CO₂, CO, NO_x y CH₄ en la ciudad de Quito

Tabla D.1 Inventario de emisiones de CO₂ de vehículos a gasolina extra en DMQ

Fuente	CO ₂ (toneladas/año)			
	2003	2005	2007	2009
Particulares	398.142	445.937	514.739	563.343
Taxis	120.650	117.403	112.190	125.767
Busetas	10.246	25.365	31.037	32.432
Buses	1.102	615	4.005	4.471
Pick Up	190.231	213.377	224.344	237.951
Pesados	9.151	5.544	22.134	26.635
Total	729.522	808.240	908.449	990.599

Fuente: Corpaire “Inventario de emisiones del Distrito Metropolitano de Quito 2003-2009”

Tabla D.2 Inventario de emisiones de CO de vehículos a gasolina extra en DMQ

Fuente	CO (toneladas/año)			
	2003	2005	2007	2009
Particulares	28.706	22.451	21.654	15.636
Taxis	8.231	7.249	5.739	4.940
Busetas	1.548	3.413	3.840	3.886
Buses	140	139	827	970
Pick Up	17.352	15.219	15.276	13.749
Pesados	845	3.401	6.803	11.390
Total	56.823	51.871	54.138	50.571

Fuente: Corpaire “Inventario de emisiones del Distrito Metropolitano de Quito 2003-2009”

Tabla D.3 Inventario de emisiones de NO_x de vehículos a gasolina extra en DMQ

Fuente	NO _x (toneladas/año)			
	2003	2005	2007	2009
Particulares	2.858	2.371	2.452	2.053
Taxis	970	688	775	937
Busetas	71	155	183	186
Buses	6	6	46	52
Pick Up	1.460	1.882	1.975	1.841
Pesados	64	46	144	193
Total	5.431	5.147	5.576	5.261

Fuente: Corpaire “Inventario de emisiones del Distrito Metropolitano de Quito 2003-2009”

Tabla D.4 Inventario de emisiones de CH₄ de vehículos a gasolina extra en DMQ

Fuente	CH₄ (toneladas/año)			
	2003	2005	2007	2009
Particulares	189	162	125	94
Taxis	55	48	34	18
Busetas	7	13	15	15
Buses	1	1	6	8
Pick Up	179	181	98	90
Pesados	5	13	38	64
Total	435	417	317	288

Fuente: Corpaire “Inventario de emisiones del Distrito Metropolitano de Quito 2003-2009”

BIOGRAFÍA

Liliana Guzmán Beckmann, autora de la presente tesis, es Ingeniera Química graduada en el 2003 de la Escuela Politécnica Nacional de Quito. Especializada en Alimentos y Biotecnología y en Metalurgia.

Inició su experiencia laboral en el Departamento de Procesos Industriales Químicos de la EPN como ayudante de las cátedras de Transferencia de Masa I y II y Diseño de Plantas y asistente del laboratorio de Procesos Químicos. Posteriormente se dedicó al proyecto de Investigación a nivel laboratorio y a nivel piloto sobre los procesos de fabricación de monoalquil ésteres de ácidos grasos de cadena larga (biodiesel) para su aplicación industrial.

Se desempeñó como Ingeniera de Campo en la empresa de servicios petroleros Baker Atlas, trabajando en operaciones con cable para pozos entubados, perforaciones, instalación de tapones, empaquetaduras, etc. Correlaciones para TCP. Registros de Cemento. Tapones de cemento. Participación en operaciones de liberación de tubería, TCP (Cañoneo con tubería) y registros de hueco abierto.

Actualmente se desempeña como Gerente de Logística y Procesos en la empresa Decipher C.A. Empresa especializada en marcación de combustible para identificar contrabando y desvío de combustible. Sus funciones son planificación de consumos de productos químicos a nivel país, importaciones, planta de envasado y distribución en las terminales de despacho de combustible de Petroecuador.